



SKRIPSI –TK141581

**PRODUKSI *BIOFUEL* DARI MINYAK BINTARO
MELALUI PROSES *HYDROCRACKING* MENGGUNAKAN
KATALIS Ni-Zn/HZSM-5**

Oleh :

Faisal Arifin

02211645000015

Davi Khoirun Najib

02211645000016

Dosen Pembimbing :

Firman Kurniawansyah, S.T, M.Eng.Sc. Ph.D

NIP. 1977 05 29 2003 12 1002

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

NIP. 1950 04 28 1979 03 1002

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT –TK141581

***PRODUCTION OF BIOFUEL FROM BINTARO OIL
TROUGH HYDROCRACKING PROCESS USING Ni-
Zn/HZSM-5 CATALYST***

Authors :

Faisal Arifin

02211645000015

Davi Khoirun Najib

02211645000016

Advisors :

Firman Kurniawansyah, S.T, M.Eng.Sc. Ph.D

NIP. 1977 05 29 2003 12 1002

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

NIP. 1950 04 28 1979 03 1002

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Produksi Biofuel dari Minyak Bintaro Melalui Proses Hydrocracking Menggunakan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Faisal Arifin

02211645000015

Davi Khoirun Najib

02211645000016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D.
(Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
(Pembimbing II)
3. Ir. Ignatius Gunardi, M.T.
(Penguji I)
4. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D
(Penguji II)
5. Siti Zullaikah, S.T., MT., Ph.D
(Penguji III)



“ Produksi *Biofuel* dari Minyak Bintaro Melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Ni-Zn/HZSM-5 ”

Nama : Faisal Arifin

(02211645000015)

Davi Khoirun Najib

(02211645000016)

Dosen Pembimbing : Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

Abstrak

Meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil tiap tahunnya menyebabkan ketersediaannya semakin berkurang. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan sumber energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi alternatif yang potensial adalah biofuel. Dalam penelitian ini dilakukan produksi biofuel yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh pembuatan katalis Ni-Zn/HZSM-5 dengan metode Incipient Wetness untuk mendapatkan katalis sesuai yang diinginkan, mengetahui pengaruh ratio dan % loading logam terhadap karakteristik katalis yang dihasilkan, dan mengetahui pengaruh temperatur reaksi terhadap yield biofuel dari proses hydrocracking minyak bintaro. Katalis yang dihasilkan dianalisa dengan EDX, BET, dan XRD. Produk yang dihasilkan dianalisa dengan menggunakan GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrophotometry). Hydrocracking minyak bintaro dilakukan dalam reaktor batch dengan volume feed 200 ml pada suhu yang bervariasi (350 °C, 375 °C, 400 °C) selama 2 jam dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 sebanyak 2 gram. Modifikasi katalis Ni-Zn/HZSM-5 menggunakan metode Incipient Wetness menghasilkan karakteristik katalis sesuai yang diinginkan. Hasil proses hydrocracking menunjukkan yield gasoline terbaik diperoleh sebesar 2,79% pada suhu 375 °C dengan menggunakan katalis Ni-Zn/HZSM-5 10% (1:1).

Kata kunci : *biofuel, minyak bintaro, katalis Ni-Zn/HZSM-5*

***“Production Of Biofuel From Bintaro Oil Through
Hydrocracking Process Using
Ni-Zn Catalyst ”***

Name : Faisal Arifin (02211645000015)
Davi Khoirun Najib (02211645000016)
Advisor : Firman Kurniawansyah, S.T., M.Eng, Sc., Ph.D
Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

Abstract

The increasing of fossil fuels consumption in each year causes its availability to decrease. Therefore, it is necessary to develop renewable energy sources to substitute fossil fuels. One alternative energy source is biofuels. In this research was producing biofuel aims to study the effect of making Ni-Zn/HZSM-5 catalyst by Incipient Wetness method to produce appropriate catalyst, to know the effect of metal ratio and % loading on catalyst characteristics, and to know the effect of reaction temperature on hydrocracking process of bintaro oil using Ni-Zn/HZSM-5 catalyst. The catalyst was analyzed with EDX, BET, and XRD. The product was analyzed using GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectrophotometry). Batch reactor used for hydrocracking of bintaro oil with volume of feed was 200 ml in different temperature (350 °C, 375 °C, 400 °C) for 2 hours, Ni-Zn/HZSM-5 catalyst used in this processes were 2 grams. Modification of Ni-Zn/HZSM-5 catalysts using Incipient Wetness impregnation produce appropriate catalyst characteristics. The result of hydrocracking process shown the best yield obtained was 2.79% at 375 °C using Ni-Zn/HZSM-5 10% (1: 1) catalyst.

Key words: biofuel, bintaro oil, Ni-Zn/HZSM-5 catalyst

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME karena atas rahmat dan karunia-Nya kami dapat melaksanakan Tugas Laporan Skripsi yang berjudul **Produksi Biofuel dari Minyak Bintaro Melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Ni-Zn/HZSM-5** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga kami atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Firman Kurniawansyah, ST, M.Eng, Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan membantu kami
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS dan rekan-rekan dari Laboratorium Teknik Reaksi Kimia serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Kami menyadari bahwa penulisan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Minyak	6
II.2 Minyak Nabati	8
II.3 Minyak Bintaro	10
II.4 Bahan Bakar Minyak.....	12
II.4.1 Bensin (<i>Gasoline</i>).....	13
II.4.2 Minyak Tanah (Kerosin)	15
II.4.3 Bahan Bakar Diesel.....	16
II.5 Perengkahan (<i>Cracking</i>) Minyak Nabati.....	18
II.5.1 Perengkahan Termal (<i>Thermal</i>	

<i>Cracking</i>).....	18
II.5.2 Perengkahan Katalitik (<i>Catalytic</i> <i>Cracking</i>).....	19
II.5.3 Perengkahan Hidro (<i>Hydrocracking</i>)	19
II.6 Katalis dan <i>Support</i>	21
II.6.1 Penggolongan Katalis.....	23
II.6.2 Pemilihan Katalis	25
II.6.3 Pembuatan Katalis.....	25
II.7 Zeolit	28
II.7.1 Zeolit ZSM-5.....	29
II.8 Logam Ni-Zn.....	31
II.8.1 Logam Ni	32
II.8.2 Logam Zn	33
II.9 Penelitian Terdahulu	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
III.1 Bahan dan Alat	39
III.1.1 Bahan	39
III.1.2 Alat	39
III.2 Variabel yang Digunakan	41
III.2.1 Variabel Tetap	41
III.2.2 Variabel Berubah	41
III.3 Parameter yang Dianalisa	41
III.3.1 Minyak Bintaro.....	41
III.3.2 Katalis Ni-Zn/HZSM-5.....	41

III.3.3 Produk Biofuel	41
III.4 Diagram alir Penelitian	42
III.4.1 Pembuatan Katalis	43
III.4.2 <i>Hydrocracking</i> Minyak Bintaro.....	47
III.5 Prosedur Penelitian	47
III.5.1 Pembuatan Katalis	47
III.5.2 Karakterisasi Katalis	48
III.5.3 Proses <i>Hydrocracking</i>	49
III.6 Perhitungan Yield, Konversi, dan Selektivitas	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
IV.1 Hasil Karakterisasi Katalis Ni-Zn/HZSM-5	51
IV.1.1 Analisa XRD Katalis Ni-Zn/HZSM-5	51
IV.1.2 Analisa BET dan EDX Katalis Ni-Zn/HZSM-5	53
IV.1.3 Pengaruh Pembuatan Katalis Menggunakan Incipient Wetness Terhadap Karakteristik Katalis	54
IV.2 Analisa Minyak Bintaro	56
IV.3 Analisa Produk Cair Hidrokarbon	57
IV.4 Pengaruh Metal Aktif Katalis dan Suhu Operasi Terhadap Konversi dan Selektivitas..	60
IV.5 Pengaruh Metal Aktif Katalis dan Suhu Operasi Terhadap <i>Yield</i> Biofuel	64

BAB V KESIMPULAN	67
IV.1 Kesimpulan	67
IV.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	xiii
APPENDIKS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Trigliserida dan Ester.....	6
Gambar II.2 Gugus Fungsi Asam Lemak.....	6
Gambar II.3 Buah Bintaro dan Biji Bintaro	11
Gambar II.4 Skema Proses <i>Hydrocracking</i>	21
Gambar II.5 Proses Terjadinya Reaksi Pada Katalis Heterogen	22
Gambar II.6 Struktur zeolit ZSM-5 terdiri dari unit pentasil ..	30
Gambar II.7 Mekanisme katalisis heterogen pada ikatan rangkap alkena	33
Gambar III.1 Peralatan Kalsinasi	39
Gambar III.2 Peralatan Proses <i>Hydrocracking</i>	40
Gambar III.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian	42
Gambar III.4 Diagram Alir Preparasi HZSM-5	43
Gambar III.5 Diagram Alir Preparasi Preparasi Minyak Bintaro	44
Gambar III.6 Diagram Alir Prosedur Impregnasi Ni	45
Gambar III.7 Diagram Alir Prosedur Impregnasi Zn	46
Gambar III.8 Diagram Alir <i>Hydrocracking</i> Minyak Bintaro ..	47
Gambar IV.1 Difraktogram katalis	53
Gambar IV.2 Minyak bintaro hasil ekstraksi.....	56
Gambar IV.3 Kromatogram komposisi minyak bintaro dan biofuel	59

Gambar IV.4 Pengaruh Jenis Katalis dan Suhu Terhadap	
Konversi	61
Gambar IV.5 Pengaruh Jenis Katalis dan Suhu Terhadap	
Selektivitas	62
Gambar IV.6 Pengaruh Suhu Terhadap <i>Yield</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Asam Lemak yang Terdapat dalam Minyak dan Lemak.....	8
Tabel II.2 Klasifikasi Minyak Nabati.....	9
Tabel II.3 Rendemen Biji Bintaro	11
Tabel II.4 Sifat Fisiko Kimia Minyak Biji Bintaro	12
Tabel II.5 Analisis Elementer Minyak Bumi	13
Tabel II.6 Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 88.....	14
Tabel II.7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah.....	15
Tabel II.8 Karakteristik Solar Indonesia	17
Tabel II.9 Perbandingan Proses Perengkahan	18
Tabel II.10 Batuan Zinc	34
Tabel II.11 Sifat Fisika Zinc	36
Tabel IV.1 Hasil Analisa BET dan EDX Katalis HZSM-5 dan Ni-Zn/HZSM-5	54
Tabel IV.2 Komposisi Minyak Bintaro Hasil Ekstraksi.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Menurut data yang diperoleh, pada tahun 2016 konsumsi energi masih didominasi oleh minyak bumi sebesar 41%, batu bara 36%, gas 19%, dan sisanya energi terbarukan sebesar 4% (ESDM., 2016). Dalam 5 tahun terakhir, konsumsi energi di Indonesia mengalami peningkatan mencapai 5,9%. Sehingga setiap harinya konsumsi minyak sekitar 1,5 juta bpd. Jumlah ini akan terus meningkat hingga 2025 yang jumlahnya menjadi 2,7 juta bpd (Kemenperin., 2017). Hingga saat ini jumlah cadangan minyak di Indonesia mencapai 3,7 miliar barrel yang diperkirakan hanya cukup untuk 11-12 tahun mendatang. (Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Vol.30, No. 4 2008).

Solusi yang sedang dikembangkan untuk permasalahan ketersediaan bahan bakar sebagai sumber energi adalah dengan dilakukannya produksi biofuel. Biofuel adalah bahan bakar cair atau gas yang diproduksi dari biomassa dan dapat menjadi pengganti bahan bakar fosil (Tamunaidu dan Bahtia, 2006). Biofuel berwujud cair dapat berupa *biodiesel*, *bioethanol*, atau *biogasoline*. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terbentuk dari alkohol ester yang berasal dari minyak dan lemak. *Biodiesel* dapat dibuat melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau *hydrocracking*. *Biodiesel* menghasilkan emisi polutan yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar *diesel* (Ali dan Hana, 1994). *Biodiesel* memiliki kekurangan yaitu nilai kalori yang rendah sehingga daya efektif mesin lebih rendah, dan stabilitas oksidasi yang buruk dibandingkan dengan bahan bakar solar (Sukarno., 2012). *Bioethanol* berasal dari biomassa yang berpotensi sebagai bahan bakar transportasi dan dapat menggantikan *gasoline* (Kim dan Dale, 2003). Kekurangan *bioethanol* adalah dalam menggunakan bioethanol harus dilakukan modifikasi pada mesin

motor (Saputri., 2010). *Biogasoline* adalah bahan bakar yang didapat dengan mengkonversikan biomassa menjadi *gasoline* melalui proses *pyrolysis* atau *cracking*. Penyusun utama *biogasoline* adalah nafta, isoparafina, aromatik, dan olefin (Siregar, 2015).

Biofuel dapat dibuat dari berbagai biomassa yang mengandung minyak. Bintaro adalah salah satu biomassa yang potensial untuk dikembangkan menjadi bahan baku biodiesel karena penyebarannya di Indonesia cukup luas terutama di hutan rawa, pesisir, atau di pantai hingga ke darat sekitar 400 mdpl, selain itu biji bintaro yang dikukus dapat menghasilkan minyak sebanyak 38,78% dengan karakteristik warna kuning gelap, bilangan iod 74,10 g I₂/100g, bilangan asam 6,33 mg basa/g, kadar air 2,48% v/v dan berat jenis 910 kg/m³. (Handayani dkk., 2015).

Pembuatan biofuel dari buah bintaro ini dapat diperoleh melalui metode perengkahan (*cracking*). Metode perengkahan (*cracking*) merupakan suatu proses pemutusan senyawa hidrokarbon rantai panjang menjadi senyawa hidrokarbon pendek. Perengkahan menghasilkan senyawa seperti metana, etana, propana, butana, *gasoline*, *kerosene* serta *diesel*. Bahan baku yang biasa digunakan dalam proses perengkahan adalah minyak bumi dan residu (Clark., 2003). Proses perengkahan dibagi menjadi tiga yaitu *thermal cracking* (perengkahan minyak nabati yang menggunakan panas tanpa keberadaan katalis), *catalytic cracking* (proses perengkahan yang menggunakan katalis dan membutuhkan panas), dan *hydrocracking* (kombinasi dari perengkahan katalitik dan hidrogenasi) (Siregar., 2015).

Kelemahan dari *thermal cracking* adalah reaksinya berjalan lambat, rantai karbon bahan baku terpecah secara acak sehingga selektivitas sulit dikontrol dan konversinya kecil, sedangkan untuk *catalytic cracking* membutuhkan panas dalam jumlah sedikit dengan kualitas lebih baik. *Hydrocracking* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan kedua metode lainnya yaitu dapat memberikan konversi yang tinggi, *yield* ke arah *middle distillate*

juga tinggi, kualitas alkana yang dihasilkan mempunyai *cetane number* yang tinggi (Nugroho., 2014). Dari kelebihan yang dimiliki metode *hydrocracking*, maka metode yang lebih tepat digunakan pada proses perengkahan minyak bintaro menjadi biofuel.

Pada proses perengkahan kondisi operasi dan jenis katalis sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Katalis yang akan digunakan pada proses *hydrocracking* yang akan dilakukan adalah katalis bifungsional. Katalis bifungsional adalah gabungan antara katalis yang bersifat asam dan katalis logam. Logam yang biasa digunakan sebagai katalis adalah logam transisi. Logam transisi yang biasa digunakan sebagai promotor diantaranya Co, Mo, Ni, Cr, Zr, Pt, dan *support* katalis asam seperti zeolit, Al_2O_3 , SiO_2 , silica alumina dan lain-lain (Pashigreva dkk, 2010; Francesco dkk, 2013; Toshiaki, 2015).

Berbagai macam katalis digunakan pada proses perengkahan karena dengan pemakaian katalis suatu reaksi dapat berjalan dengan waktu yang singkat dan nilai konversi yang lebih besar. Katalis yang banyak diterapkan pada reaksi perengkahan adalah katalis heterogen yang mempunyai kelebihan yaitu kemudahan dalam hal pemisahan dan dapat digunakan kembali (Sharma, 2006).

Nikel merupakan katalis yang sangat aktif digunakan untuk reaksi hidrogenasi minyak nabati. Dukungan HZSM-5, memiliki kemampuan kuat *catalytic cracking* (French R, Czernik S., 2010). Shi dkk (2012) dalam penelitiannya membuktikan bahwa penggunaan katalis Ni/HZSM-5 dapat meningkatkan *yield* hidrokarbon alkana ($\text{C}_5\text{-C}_{16}$) yang dihasilkan.

Zinc sering digunakan sebagai katalis karena biaya yang murah serta dapat meningkatkan kinerja katalis zeolit selama mengubah minyak nabati menjadi biofuel. Penelitian Zhao dkk mengindikasikan bahwa Zn yang dimodifikasi menjadi katalis $\text{Mo-Zn/Al}_2\text{O}_3$ menghasilkan aktivitas katalitik yang sangat baik dan kestabilan dalam mengkonversi *oxygenated compound* pada

minyak nabati menjadi hidrokarbon. Hal ini dikarenakan sifat asam dan ketahanan terhadap *coke* yang dimiliki oleh *zinc* (Cheng dk., 20017). Zeolit HZSM-5 merupakan katalis aktif dan atau *support* untuk beberapa reaksi: *cracking*, aromatisasi, isomerisasi hidrokarbon, dan alkilasi, karena aktivitasnya, keasamannya, kemampuan untuk bekerja sebagai saringan molekuler, stabilitas termal tinggi, kapasitas adsorpsi dan kemampuan pertukaran ion (Bellussi dan Possel, 2005).

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka kami menggunakan katalis modifikasi Ni-Zn/HZSM-5 dengan harapan dapat meningkatkan aktivasi katalis untuk memperoleh *yield* yang diinginkan dibandingkan dengan menggunakan *single* logam ataupun hanya menggunakan HZSM.

I.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pembuatan katalis Ni-Zn/HZSM-5 dengan metode *Incipient Wetness* terhadap karakteristik katalis?
2. Bagaimana pengaruh *ratio* dan % *loading* katalis Ni-Zn/HZSM-5 terhadap *yield* biofuel yang dihasilkan dari proses *hydrocracking* minyak bintaro?
3. Bagaimana pengaruh temperatur reaksi terhadap *yield* biofuel yang dihasilkan melalui proses *hydrocracking* minyak bintaro menggunakan katalis Ni-Zn/HZSM-5?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pengaruh pembuatan katalis Ni-Zn/HZSM-5 dengan metode *Incipient Wetness* untuk mendapatkan katalis sesuai yang diinginkan.
2. Mengetahui pengaruh *ratio* dan % *loading* katalis terhadap *yield* biofuel yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh temperatur reaksi terhadap *yield* biofuel melalui proses *hydrocracking* minyak bintaro menggunakan katalis Ni-Zn/HZSM-5.

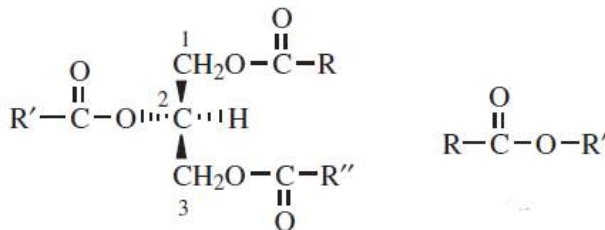
I.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi proses pembuatan biofuel berbasis minyak bintaro melalui proses *hydrocracking*.
2. Menghasilkan bahan bakar alternatif sebagai *renewable energy*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

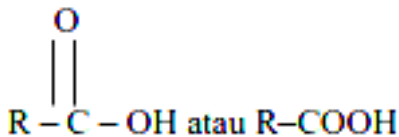
II.1 Minyak

Minyak dan lemak terdiri dari trigliserida campuran, yang merupakan ester dari gliserol dan asam lemak (Othmer, 2004). Trigliserida dapat berwujud padat atau cair tergantung dari komposisi asam lemak yang menyusunnya. sebagian besar minyak nabati berbentuk cair karena mengandung sejumlah asam lemak tidak jenuh, yaitu asam oleat, linoleat, atau asam linoleat dengan titik cair rendah (Ketaren, 1986).



Gambar.II.1 Trigliserida dan Ester (Othmer, 2004)

Asam lemak tidak lain adalah asam alkanoat atau asam karboksilat berderajat tinggi (rantai C lebih dari 6). Rumus molekulnya adalah : $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ (Ketaren, 1986).



Gambar II.2 Gugus fungsi asam lemak (Ketaren, 1986).

Karena berguna dalam mengenal ciri-cirinya, asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh.

Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal di antara atom-atom karbon penyusunnya, sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda di antara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak merupakan asam lemah dan dalam air terdisosiasi sebagian. Umumnya berfase cair atau padat pada suhu ruang (27 °C). Semakin panjang rantai C penyusunnya, semakin mudah membeku dan juga semakin sukar larut (Anonim, 2010). Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi).

Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk: *cis* dan *trans*. Semua asam lemak nabati alami hanya memiliki bentuk *cis* (dilambangkan dengan "Z"). Asam lemak bentuk *trans* fatty acid, dilambangkan dengan "E") hanya diproduksi oleh sisa metabolisme hewan atau dibuat secara sintetis. Akibat polarisasi atom H, asam lemak *cis* memiliki rantai yang melengkung. Asam lemak *trans* karena atom H-nya berseberangan tidak mengalami efek polarisasi yang kuat dan rantainya tetap relatif lurus (Anonim, 2010). Komponen asam lemak yang biasanya terdapat dalam minyak dan lemak dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

Lemak atau minyak yang dapat dimakan (*edible oil*), dihasilkan oleh alam, yang dapat bersumber dari bahan nabati dan hewani. Dalam tanaman atau hewan, minyak tersebut berfungsi sebagai sumber cadangan energi. Minyak dalam tanaman dibentuk dalam sel hidup, yang merupakan hasil dari serangkaian reaksi yang kompleks dalam proses metabolisme. Adapun perbedaan umum antara lemak nabati dan hewani adalah lemak hewani mengandung kolesterol sedangkan lemak nabati mengandung fitosterol, kadar asam lemak tidak jenuh dalam lemak hewani lebih kecil dari lemak nabati. Minyak dan lemak yang diperoleh dari berbagai sumber mempunyai sifat fisika-kimia berbeda satu sama lain, karena perbedaan jumlah dan jenis ester yang terkandung di dalamnya.

Tabel II.1 Asam Lemak yang Terdapat dalam Minyak dan Lemak

Jenis Asam	Rumus Molekul	Sumber	Titik cair (°C)
Asam Lemak Jenuh			
Asetat	CH_3COOH	Minyak pohon spindle	16,6
n-butirat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	susu sapi, mentega	-7,6
Isovalerat	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$	Minyak ikan lumba-lumba	-37,6
n-kaproat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Minyak kelapa, kelapa sawit	-1,5
n-kaprilat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Mentega, Minyak kelapa	1,6
Kaprat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	Susu sapi, Minyak kelapa	31,5
Laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Minyak kelapa, susu, inti sawit	44
Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Minyak pala, babi, susu ternak	58
Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Minyak nabati, hewani	64
Stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Minyak nabati, hewani	69,4
Arachidat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Minyak kacang	76,3
Behenat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	Mentega	80,7
Lignoserat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	Minyak kacang, kacang tanah	81
Asam Lemak tidak jenuh (satu ikatan rangkap)			
Oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	sebagian besar minyak	14
Erukat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	Minyak hati ikan hiu, rape seed	31-32
Hypogeat		Minyak kacang, jagung	33
Asam Lemak tidak jenuh (dua ikatan rangkap atau lebih)			
Linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Minyak biji kapas, biji lin, biji <i>poppy</i>	11
Clupanodonat	$\text{C}_{22}\text{H}_{34}\text{O}_2$	Minyak ikan paus, hati ikan hiu	< -78

Sumber: Krischenbauer, 1960

II.2 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah minyak yang diekstrak dari berbagai bagian tumbuhan. Sumber dari minyak nabati dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Biji – bijian palawija : minyak jagung, biji kapas, kaang, *rape seed*, wijen, kedelai, dan bunga matahari,
2. Kulit buah tanaman tahunan : minyak zaitun dan kelapa sawit
3. Biji – bijian dari tanaman tahunan : kelapa, cokelat, inti sawit, babassu, cohune, dan sebagainya (Ketaren 1986).

Komposisi atau jenis asam lemak dan sifat fisika-kimia tiap jenis minyak berbeda – beda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan sumber, iklim, keadaan tempat tumbuh, dan pengolahan. Klasifikasi minyak nabati berdasarkan sifat fisiknya (sifat mengering dan sifat cair) dapat dilihat pada **Tabel II.2** sebagai berikut:

Tabel II.2 Klasifikasi Minyak Nabati

Kelompok Minyak	Jenis lemak / minyak
1. Lemak (berwujud padat)	Lemak biji coklat, inti sawit, tengkawang,
2. Minyak (berwujud cair)	<i>mutmeg butter, shea butter</i>
○ Tidak mengering (<i>non drying oil</i>)	Minyak zaitun, kelapa, inti zaitun, kacang tanah,
○ Setengah mengering (<i>semi drying oil</i>)	almound, inti alpukat, inti pulm, jarak <i>rape</i> dan
○ Mengering (<i>drying oil</i>)	<i>mustard</i> . Minyak dari biji kapas, kapuk, jagung, gandum, biji bunga matahari, <i>croton</i> dan <i>urgen</i> . Minyak kacang kedelai, <i>safflower</i> , <i>argemone</i> , <i>walnut</i> , <i>hemp</i> , biji <i>poppy</i> dan biji karet

Sumber: Hilditch, T.P., 1945

Minyak nabati tersusun dari sebagian besar trigliserida, dan sebagian kecil asam lemak, monogliserida, dan digliserida (Shahidi, 2005). Trigliserida terdiri dari komposisi asam lemak yang berbeda yang mempengaruhi sifat fisik dan kimia minyak nabati. Ada dua jenis asam lemak yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh mengandung ikatan karbon tunggal (*saturated*) sedangkan asam lemak tak jenuh mencakup satu atau lebih ikatan karbon rangkap (*unsaturated*) (Marchetti, 2012; Ong dkk, 2013).

Asam lemak yang sering ditemukan didalam bahan baku minyak nabati adalah asam palmitat (16:0), asam stearat (18:0), asam oleat (18:1), asam linoleat (18:2), dan asam linolenat (18:3). Asam lemak lain yang juga ada di beberapa minyak tumbuhan meliputi asam miristat (14:0), asam palmitoleat (16:1), asam arakidat (20:0), dan asam erukosa (22:1). Selain adanya asam lemak, komponen tambahan, seperti fosfolipid, karoten, tocopherol, senyawa sulfur, dan air juga ada pada minyak nabati (Marchetti, 2012; Ong dkk, 2013).

Asam lemak yang bergabung dan membentuk trigliserida pada minyak nabati dapat dijadikan sebagai bahan dasar biofuel melalui reaksi *hydrocracking*, yaitu suatu mekanisme gabungan atau kombinasi antara perekaan dengan katalis dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa jenuh yang dilakukan pada tekanan tinggi (Hubber., 2007).

II.3 Minyak Bintaro

Bintaro (*Cerebera Manghas L*) seperti pada **Gambar II.3** adalah jenis bakau ikutan yang penyebarannya diindonesia cukup luas terutama di hutan rawa, pesisir, atau dipantai hingga ke darat sekitar 400 mdpl. Bintaro biasa digunakan sebagai tanaman penghijau dan kerajinan bunga kering. Bintaro tidak banyak dimanfaatkan oleh masyarakat karena diseluruh bagian tanamannya mengandung racun sehingga nilai ekonomisnya masih rendah.



Gambar II.3 Buah Bintaro dan Biji Bintaro

Biji bintaro yang dikukus dapat menghasilkan minyak sebanyak 38,78% dengan karakteristik warna kuning gelap, bilangan iod 74,10 g I₂/100g, bilangan asam 6,33 mg basa/g, kadar air 2,48% v/v dan berat jenis 910 kg/m³. (Handayani dkk., 2015).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Handayani dkk pada tahun 2015 dalam satu buah bintaro terdapat biji dengan berat rendemen rata-rata 8,13% dari berat buah total. Rendemen biji bintaro dapat dilihat pada **Tabel II.3**.

Tabel II.3 Rendemen Biji Bintaro

	Buah (kg)	Biji (kg)	Rendemen Biji (%)	Rata- rata Rendemen Biji (%)
1	16,4	1,3	7,93	8,13
2	3,6	0,3	8,33	

Sumber : Towaha dan Indriati., 2011

Rata-rata rendemen biji bintaro sangat kecil hal ini dikarenakan buah bintaro memiliki daging buah yang besar dan ukuran biji yang kecil. Bintaro terdiri atas 8% biji dan 92% daging buah. Bijinya sendiri terbagi dalam cangkang 14% dan daging biji 86% sehingga jumlah daging biji hanya 6,9% dari keseluruhan buah bintaro. (Towaha dan Indriati, 2011).

Minyak biji bintaro umumnya memiliki berat jenis sekitar 0,9084 g/ml. Sebagian besar minyak biji bintaro tersusun oleh asam oleat sekitar 34,02%, yang mana asam oleat merupakan lemak tidak jenuh, sehingga berat jenis minyak biji bintaro

cenderung tinggi (Handayani dkk, 2015). Karakteristik sifat fisika kimia minyak bintaro dapat dilihat pada **Tabel II.4**.

Tabel II.4 Sifat Fisika Kimia Minyak Biji Bintaro

Sifat Fisika-Kimia	Nilai	
Sifa Fisika	Biji Bintaro	Biji Bintaro*
Berat Jenis	0,9084	0,910
Indeks Bias	1,4659	-
Kadar Air (% v/v)	0,30	2,48
Sifat Kimia		
Bilangan Asam (g/ml)	1,19	6,33
Bilangan Iod (gr I ₂ /100gr)	76,30	74,10
Bilangan Penyabunan (mg KOH/g)	202,90	-
Bilangan Ester (mg KOH/g)	201,71	-

Sumber : Handayani dkk., 2015

II.4 Bahan Bakar Minyak

Minyak bumi memiliki komponen utama yakni hidrokarbon dengan berbagai tipe seperti *normal paraffin*, *isoparaffin*, *naphthene*, *aromatic*, *multi ring naphthen* dan *multi ring aromatic* (Ward, 1993). Paraffin yang memiliki rumus umum C_nH_{2n+2} terdiri dari rantai lurus (normal) dan cabang (iso). Senyawa aromatik memiliki jumlah atom C berjumlah 5-6 C_nH_{2n-6} dan naftha C_nH_{2n} . Produk bahan bakar juga dapat didefinisikan berdasarkan rantai hidrokarbon (HC) atau jumlah atom karbon (C), seperti: *Lights* (C1-C4), *Naptha* (C5-C9), *Kerosene* (C10-C14), *Gasoil* (C15-C23), *Heavy residu* (>C24), (Hsu dkk, 2006; Barron dkk, 2011).

Selain komponen utama, juga terdapat beberapa senyawa hetero atom hidrokarbon yang terdapat pada komponen minyak bumi dan menghasilkan polusi udara serta sebagai racun pada katalis diantaranya adalah sulfur (Hensen dkk, 2008). Kandungan

sulfur sebagai polutan pada bahan bakar yaitu: metil propil sulfide dan 3-metil tiasiklo heksana, merkaptan, sulfida, disulfida, siklo-pentana-tial, siklo-heksana-tial, tiasiklo-heksana, tiofena, benzo-tiofena, benzo-tiofena, dan di-benzo-tiofena (Hsu dkk, 2006; Nasution dkk, 2010).

Analisis elementer minyak bumi pada **Tabel II.5** menunjukkan senyawa yang mengandung senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon seperti sulfur, nitrogen, oksigen, dan lainnya.

Tabel II.5 Analisis Elementer Minyak Bumi	
Jenis Atom	Kadar Atom % berat
Karbon	84,9-87,8
Hidrogen	11,0-14,0
Sulfur	0,06-8,00
Nitrogen	0-2,0
Oksigen	0-0,5
Logam (Fe, V, Ni)	0-0,03

Sumber : Nasution, 2010

II.4.1 Bensin (*Gasoline*)

Bensin adalah campuran kompleks dari senyawa hidrokarbon dengan kisaran titik didih 40 – 180 °C (Hardjono, 2000). Tiga jenis bensin yang diproduksi Indonesia adalah

Premium-88, Pertamax-91, dan Pertamax Plus-95. Spesifikasi Bensin dijelaskan pada **Tabel II.6**.

Tabel II.6 Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin 88

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-lain
1	Bilangan oktana angka oktana riset	RON	88	-	D 2699	
2	Stabilitas oksidasi	Menit	360	-	D 525	
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,015	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4	Kandungan timbal (Pb)	g/l		0,013	D 3237	
5	Kandungan logam (mangan, besi)	mg/l	Tidak terlacak		D 3831 atau D 5185	UOP 391
6	Kandungan oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815 atau D 6839 atau D 5599	
7	Kandungan olefin	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
8	Kandungan aromatic	% v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
9	Kandungan benzene	% v/v			D 5580 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3606	
10	Distilasi:					
	10% vol.penguapan	°C	-	74		
	50% vol.penguapan	°C	75	125	D 86	
	90% vol.penguapan	°C	-	180		
	Titik didih akhir	°C	-	215		
	Residu	% vol	-	2		
11	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70	D 381	
13	Washed gum	mg/100 ml	-	5	D 381	
14	Tekanan uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323	
15	Berat jenis (suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	D 4052 atau D 1298	
16	Korosi bilah tembaga	Menit	Kelas 1		D 130	
17	Sulfur mercaptan	% massa	-	0,002	D 3227	
18	Penampilan visual		Jernih, terang Dapat dipasarkan Kuning			
19	Bau					
20	Warna					
21	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13		

Sumber: SK Dirjen Migas No.3674K/24/DJM/2006.

Bilangan oktan merupakan bilangan perbandingan antara nilai ketukan bensin terhadap nilai ketukan dari campuran hidrokarbon standar yaitu: n-heptana dan isooktan atau 2,2,4-trimetilpentana. Semakin besar nilai oktan maka semakin baik untuk kinerja mesin, nilai oktan ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin bensin.

II.4.2 Minyak Tanah (*Kerosene*)

Kerosene adalah fraksi minyak tanah dengan titik didih 150-300 °C. Kegunaan dari *kerosene* adalah sebagai bahan bakar lampu penerangan dan bahan bakar kompor bagi rumah tangga. Fraksi minyak ini juga memiliki titik asap yang mewakili kualitasnya. Semakin tinggi titik asapnya maka kualitas dari fraksi ini semakin baik. Spesifikasi sifat *kerosene* berdasarkan keputusan SK Dirjen Migas No.21 K/72/DDJm/1990 menetapkan batas minimum *flash point* 100 °F dan *smoke point* 16 mm dengan *specific gravity* pada 60/60 °F maksimum 0,835 (Hardjono, 2000).

Tabel II.7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah I

No	Karakteristik	Satuan	Batasan MFO-1		Batasan MFO-2		Metode uji
			Min	Maks	Min	Maks	ASTM
1	Densitas (suhu 15°C)	kg/m ³	-	991	-	1	Densitas (suhu 15°C)
2	Viskositas kinematik (suhu 50°C)	mm ² /s	-	180	-	2	Viskositas kinematik (suhu 50°C)
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	4.5	-	3	Kandungan sulfur
4	Titik tuang	°C	-	30	-	4	Titik tuang
5	Titik nyala	°C	-	-	-	5	Titik nyala
6	Residu karbon	% m/m	60	16	60	6	Residu karbon
7	Kandungan abu	% m/m	-	0.1	-	7	Kandungan abu
8	Sedimen total	% m/m	-	0.1	-	8	Sedimen total
9	Kandungan air	% v/v	-	1	-	9	Kandungan air
10	Vanadium	mg/kg	-	200	-	10	Vanadium
11	Aluminium + silikon	mg/m ³	-	80	-	11	Aluminium + silikon

Sumber: SK Dirjen Migas No.21 K/72/DDJm/1990

II.4.3 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel merupakan fraksi minyak bumi yang memiliki titik didih sekitar 175-370 °C. Kualitas dari bahan bakar diesel dinyatakan dengan angka setana (*cetane number*) yang dapat diperoleh dari perbandingan antara keterlambatan menyala bahan bakar pembanding (*reference fuels*) dimana menggunakan senyawa setana atau n-heksadekana ($C_{16}H_{34}$) sebagai bahan bakar pembanding (Hardjono, 2000).

Dua jenis minyak solar yang dimiliki Indonesia yaitu minyak solar-48 dan minyak solar-51 yang mana pada **Tabel II.8** ditampilkan spesifikasinya yang ditetapkan dengan SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJM/2006.

Tabel II.8 Karakteristik Solar Indonesia

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-lain
1	Bilangan cetana		48	-	D 614	
2	Berat jenis (suhu 15°C)	kg/m ³	815	860	D 1298 atau D 4052	
3	Viskositas (suhu 40°C)	mm ² /s	2	4,5	D 445	
4	Kandungan sulfur (Pb)	% m/m		0,35 0,3 0,25 0,05 0,005	D 2622 atau D 5453 atau D 4294 atau D 7039	
5	Distilasi: 90% vol.penguapan	°C	-	370	D 86	UOP 391
6	Titik nyala	°C	52	-	D 93	
7	Titik tuang	°C	-	18	D 97	
8	Residu karbon	% m/m	-	0,1	D 4530 atau D 189	
9	Kandungan air	mm/kg	-	50	D 6304	
10	<i>Biological growth</i>	kg/m ³	Nihil			
11	Kandungan FAME	% v/v	-	-		
12	Kandungan methanol	% v/v	Tak terdeteksi	D 4815	D 4815	
13	Korosi bilah tembaga	Menit	-	Kelas 1	D 130	
14	Kandungan abu	% m/m	-	0,01	D 482	
15	Kandungan sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	
16	Bilangan asam kuat	mg KOH/g	-	0	D 664	
17	Bilangan asam total	mg KOH/g	-	0,6	D 664	
18	Penampilan visual	Jernih, terang				
19	Warna	No. ASTM		3	D 1500	
20	Lubricity	Micron	-	460	D 6079	

Sumber: SK Dirjen Migas No.2674 K/24/DJM/2006

II.5 Perengkahan (*Cracking*) Minyak Nabati

Alternatif yang digunakan untuk mendapatkan biofuel dari minyak nabati adalah dengan melakukan proses perengkahan rantai hidrokarbon pada minyak nabati (Ocelli, 1988). Perengkahan (*cracking*) adalah proses yang digunakan untuk memotong suatu rantai karbon panjang menjadi rantai karbon yang lebih pendek. Terdapat tiga jenis proses *cracking* yang paling dikenal yaitu *thermal cracking*, *catalytic cracking* dan *hydrocracking*. *Thermal cracking* adalah proses *cracking* yang terjadi dengan adanya penambahan panas tanpa diikuti dengan penambahan udara dan katalis. *Catalytic cracking* adalah proses *cracking* dengan menggunakan katalis tanpa adanya penambahan hidrogen. *Hydrocracking* merupakan kombinasi antara *Catalytic cracking* dan hidrogenasi untuk menghasilkan senyawa yang jenuh (Siregar., 2005). Perbandingan proses perengkahan dapat dilihat pada **Tabel II.9**.

Tabel II.9 Perbandingan Proses Perengkahan

Proses Perengkahan	Kondisi Operasi	Katalis
<i>Thermal Cracking</i>	T= 800°C ; P= 700 kPa	Tanpa katalis
<i>Catalytic Cracking</i>	T= 450°-510°C ; P= 70-138 kPa	umumnya zeolite
<i>Hydrocracking</i>	T= 400°-815°C ; P= 6895-13790 kPa	Zeolit dan hidrogen

Sumber: Cleveland dan Szostak, 2014

II.5.1 Perengkahan Termal (*Thermal Cracking*)

Perengkahan termal adalah proses perengkahan minyak nabati yang menggunakan panas tanpa keberadaan katalis. Proses ini adalah cara paling sederhana untuk merengkah rantai hidrokarbon panjang menjadi lebih pendek. Kelemahan proses tanpa katalis ini adalah reaksi akan berjalan lambat dan rantai

karbon bahan baku akan terengkah secara acak, sehingga selektivitasnya tidak dapat dikontrol, dan konversinya sangat rendah (Prasad dan Bakhshi, 1985).

II.5.2 Perengkahan Katalitik (*Catalytic Cracking*)

Ada dua jenis perengkahan katalitik yaitu perengkahan katalitik homogenous dan heterogenous. Perengkahan katalitik secara homogennya terjadi ketika katalis dan reaktannya memiliki fasa yang sama baik gas maupun cair (Siregar, 2005).

Perengkahan katalitik secara heterogen terjadi pada katalis dan reaktan yang memiliki fasa yang berbeda.

Perengkahan katalitik adalah proses perengkahan yang menggunakan katalis dan membutuhkan panas dalam jumlah lebih sedikit dibanding perengkahan termal. Proses ini menghasilkan produk dengan kualitas lebih baik, tergantung pada jenis katalis yang digunakan. Dalam sejarah katalis, sintesa ZSM-5 oleh Mobil Oil menjadi terobosan yang penting karena katalis ini mempunyai keasaman dan selektivitas bentuk yang kuat.

II.5.3 Perengkahan Hidro (*Hydrocracking*)

Hydrocracking adalah proses dimana senyawa dengan C rantai panjang dipotong dan dihidrogenasi sehingga menghasilkan senyawa dengan rantai C yang lebih pendek seperti *high-value low* dan *middle distillate* termasuk *gasoline* dan bahan bakar diesel. Dua katalis dengan fungsi yang berbeda dibutuhkan sehingga pada proses *hydrocracking* ini katalis yang digunakan adalah bifungsional katalis, dimana sisi asam dari katalis berfungsi untuk mengkatalisis reaksi pemutusan rantai dan sisi logam dari katalis berfungsi untuk mengkatalisis reaksi hidrogenasi (Bartholomew, 206).

Proses *hydrocracking* memiliki keuntungan utama yaitu dapat didesain untuk memutus senyawa poliaromatik selektif terhadap *gasoline*, *diesel ful*, dan *jet fuel*. Selektivitas proses *hydrocracking* terhadap *middle distillate* lebih baik dari pada *fluid catalytic cracking*. Keuntungan lain dari proses *hydrocracking*

adalah bahan baku diproses pada tekanan yang lebih tinggi sehingga memiliki rentang temperatur yang lebih luas (Bartholomew, 2006). Suhu yang tinggi dan penggunaan tekanan hidrogen yang tinggi dapat meminimalisir reaksi yang dapat menimbulkan terbentuknya *coke* sehingga dapat mengurangi proses deaktivasi katalis akibat tertutupnya pori oleh *coke* (Boya's dkk, 2012).

Proses *hydrocracking* berlangsung pada tekanan tinggi. Proses ini biasanya menggunakan zeolit seperti H-Y, H-Beta, SAPO, H-ZSM-5 dengan logam seperti platinum (Pt), palladium (Pd), nikel (Ni), dan molybdenum (Mo). Penambahan logam pada zeolit akan meningkatkan aktivitas katalis dan selektivitas terhadap proses isomerisasi atau *cracking*. Pada katalis bifungsional yang ideal, logam menghidrogenasi dan dehidrogenasi molekul hidrokarbon dengan cepat, sementara penyusunan ulang dan pemutusan ikatan karbon dengan karbon pada alkil carbenium terjadi pada sisi asam. Selektivitas reaksi terhadap hidroisomerisasi dan *hydrocracking* ditentukan oleh *lifetime* dari ion carbenium, yang bergantung pada suhu reaksi, kekuatan asam, dan aktivitas hidrogenasi dari komponen logam (Siregar., 2005).

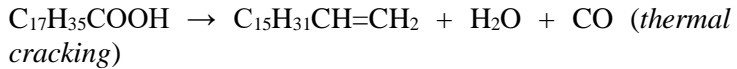
Dalam proses pembuatan hidrokarbon dari minyak nabati, kondisi proses memainkan peran penting. Suhu mempunyai pengaruh yang cukup besar pada perengkahan minyak nabati, bahkan mempengaruhi konversi dan *yield* produk. Hal ini telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya (Kartina., 2006).

Adapun uraian lengkap reaksi utama yang berlangsung selama *hydrocracking* minyak nabati, yaitu:

1. Reaksi dekarboksilasi, reaksi yang mengarah ke penghapusan kelompok karboksilat dan menghasilkan karbon dioksida (CO₂).

$$C_{17}H_{35}COOH \rightarrow C_{17}H_{36} + CO_2$$
2. Reaksi dekarbonilasi, reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang ganjil. Produk sampingnya adalah H₂O dan CO.

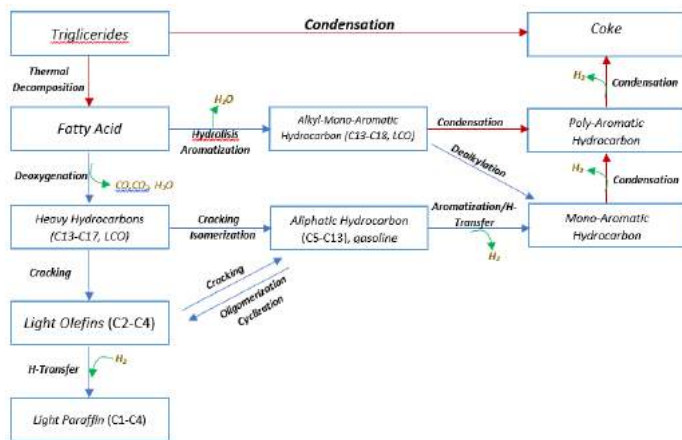
$$C_{17}H_{35}COOH + H_2 \rightarrow C_{17}H_{36} + H_2O + CO \text{ (catalytic cracking)}$$



3. Reaksi hidrideoksigenasi (reduksi), reaksi yang menghasilkan hidrokarbon utama dengan bilangan karbon yang genap dan air.



Adapun skema lengkap proses *Hydrocracking* dapat dilihat pada **Gambar II.4**

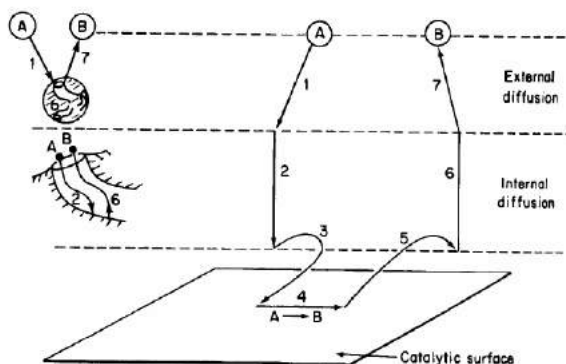


Gambar II.4 Skema Proses *Hydrocracking* (Xuan,2014)

II.6 Katalis dan Support

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi. Katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi lebih mudah terjadi. Katalis terdiri dari dua jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa sama seperti reaktannya, sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan reaktannya.

Katalis dapat berbentuk gas, cairan, atau padatan, namun yang umum dijumpai adalah katalis dengan fasa cair atau padat. Katalis cair biasanya digunakan pada proses batch atau kontinyu dimana dalam penggunaan katalis ini harus memperhatikan beberapa hal diantaranya adalah, korosi, proses pemisahan, proses *recovery*, dan *recycle* katalis. Sama halnya dengan katalis cair katalis padat juga dapat digunakan dalam proses secara batch atau kontinyu dengan jenis reaktor berupa *fixed-bed* atau *fluidized bed*. Katalis padat biasanya berupa material berpori yang memiliki luas permukaan yang sangat luas biasanya ratusan meter persegi tiap gramnya. Pada katalis padat reaksi terjadi pada *internal surface* katalis (Othmer, 2004). Katalis padat biasanya berupa logam transisi seperti nikel (Ni) dan besi (Fe). Katalis padat biasanya berupa material gabungan dari beberapa komponen dan memiliki struktur yang kompleks. Reaksi pada katalis dapat terjadi pada permukaan katalis yang terdapat dibagian dalam rongga katalis, sedangkan pada bagian rongga katalis yang terjadi adalah proses difusi. Proses terjadinya reaksi pada katalis padat diilustrasikan melalui **Gambar II.3**.



Gambar II.5 Proses Terjadinya Reaksi Pada Katalis Heterogen (Siregar., 2005)

Reaksi pada katalis terjadi dalam tujuh tahap seperti yang diilustrasikan pada **Gambar II.5** :

1. Difusi reaktan menuju permukaan luar katalis
2. Difusi reaktan dari mulut pori melalui pori-pari katalis menuju permukaan internal katalis
3. Adsorpsi reaktan pada permukaan katalis
4. Reaksi reaktan yang teradsorpsi dimana reaktan tersebut terkonversi menjadi produk
5. Desorpsi produk dari permukaan katalis
6. Difusi produk dari dalam mulut pori katalis pada permukaan luar katalis
7. Perpindahan massa produk dari permukaan eksternal katalis menuju bulk dari aliran proses

Katalis yang biasa digunakan dalam proses *cracking*, aromatisasi, dan hidrogenasi pada proses petroleum adalah katalis zeolit. Katalis zeolit ini terdiri dari ikatan antara logam Al dengan logam Si. Perbandingan Si dan Al ini mempengaruhi sifat dan struktur zeolit. Ada beberapa jenis katalis zeolit dan yang umum digunakan adalah ZSM-5 dan H-ZSM-5. Penggunaan katalis H-ZSM-5 memiliki selektivitas perolehan *gasoline* paling tinggi dibanding katalis zeolite lainnya yaitu sebesar 27% wt (Siregar, 2005).

II.6.1 Penggolongan Katalis

Penggolongan katalis secara umum dibagi menjadi dua yaitu:

1. Katalis Homogen
Katalis homogen adalah katalis yang berada pada fasa yang sama dengan reaktannya. Kekurangan katalis ini adalah pemisahan yang sulit dari media reaksi.
2. Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang berbeda dengan reaktannya. Persyaratan dari suatu katalis heterogen adalah bahwa pereaksi gas diadsorpsi oleh katalis. Pada umumnya katalis heterogen berbentuk padatan dan memiliki permukaan metal aktif. Pada katalis heterogen terdapat beberapa komponen penyusun. Komponen tersebut dibagi menjadi 3 yaitu senyawa aktif, penyangga dan promotor.

a. Senyawa aktif

Senyawa aktif adalah senyawa yang mengatur terjadinya reaksi kimia pada katalis, sehingga dapat merubah reaktan menjadi produk. Beberapa contoh senyawa yang dapat berfungsi sebagai senyawa aktif yaitu logam dalam bentuk murninya atau dalam bentuk oksidanya, seperti Ni (nikel), Pt (platina) dll.

b. Penyangga

Penyangga atau *support* merupakan komponen terbesar pada katalis yang mempunyai fungsi sebagai tempat untuk mendistribusikan senyawa aktif ke pori-pori bahan penyangga secara merata sehingga terjadi dispersi senyawa aktif yang merata (Nurjanah dkk, 2010). Bahan penyangga mempunyai sifat *inert* sehingga tidak mempengaruhi reaksi yang terjadi pada katalis dan tahan terhadap panas pada proses kimia di industri.

c. Promotor

Promotor merupakan bahan yang digunakan sebagai aditif untuk meningkatkan aktivitas katalis dengan menjaga dispersi fasa aktif dan meningkatkan stabilitas termal dari pendukung serta mampu meningkatkan selektivitas.

II.6.2 Pemilihan Katalis

Pemilihan katalis untuk proses dapat didasarkan pada beberapa hal berikut:

- Aktifitas, selektivitas, stabilitas, kekuatan mekanik dari katalis
- Kondisi proses
- Mudah diregenerasi
- Komposisi feed
- Penggunaan promotor

II.6.3 Pembuatan Katalis

Tujuan utama dari suatu metode preparasi adalah untuk mendistribusikan fasa aktif (metal) dengan cara yang paling efisien (misalnya dalam bentuk terdispersi, yaitu untuk memperoleh luas permukaan spesifik yang besar dan juga aktivitas maksimum persatuan berat dari senyawa aktif) pada permukaan padatan penyangga (Figueras, 1988).

Pembuatan katalis pada umumnya menggunakan metode impregnasi dan metode presipitasi (Moulijn, 1993). Metode impregnasi lebih sering digunakan karena memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi serta lebih mudah dalam penerapannya.

1. Proses pembuatan katalis dengan metode impregnasi.

Impregnasi secara luas memiliki pengertian proses penjenjutan zat tertentu secara total. Penjenjutan ini dilakukan dengan mengisi pori-pori penyangga dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam, yaitu dengan merendam *support* dalam larutan yang mengandung logam aktif. Dalam hal ini, penyangga memiliki fungsi sebagai penyedia permukaan yang luas agar lebih mudah menebarkan situs aktif, sehingga permukaan kontakannya lebih luas dan efisien. Impregnasi dilakukan jika pada *support* tidak terdapat anion atau kation yang dapat dipertukarkan dengan fasa aktif (Wendari., 2016).

Prinsip impregnasi adalah memasukkan katalis logam secara paksa ke dalam rongga-rongga *support* dengan cara merendam

support ke dalam prekursor logam aktif disertai dengan pengadukan dan pemanasan. Impregnasi juga merupakan prosedur yang umum untuk membuat katalis bimetal. Katalis bimetal dapat dibuat dengan ko-impregnasi yaitu kedua garam logam dimasukkan dalam waktu yang sama atau dengan impregnasi terpisah yaitu garam logam pertama dimasukkan kemudian diikuti garam logam ke-dua. Dalam ko-impregnasi, letak dan sifat logam dalam pengemban tergantung pada jenis garam prekursor yang digunakan dan kecenderungan untuk membentuk paduan dua komponen (Wang dkk., 2009)

Secara umum cara impregnasi dibagi menjadi 2 macam, yaitu impregnasi secara langsung (ko-impregnasi) dan impregnasi bertahap (sekuensial impregnasi). Impregnasi langsung adalah proses pemasukan larutan logam fasa aktif dan dan promotor bersama dalam pori *support* dengan cara pencampuran dan pengadukan secara bersamaan, sedangkan untuk impregnasi bertahap (Sekuensial Impregnasi) proses impregnasi fasa aktif dan promotor dilakukan secara terpisah. Pada umumnya dilakukan impregnasi promotor terlebih dahulu lalu dilanjutkan dengan fasa aktif dengan pengadukan secara berurutan. Impregnasi bertahap diketahui akan menghasilkan katalis dengan aktivitas yang lebih tinggi.

Metode impregnasi umumnya diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan volume larutan prekursor yang digunakan, antara perbandingan volume prekursor yang akan diimpregnasikan dengan volume pori *support*. Metode ini yaitu :

a. Impregnasi kering (DI)

Pada metode ini, material yang diimpregnasikan dijaga tetap kering. Untuk impregnasi kering, volume larutan fasa aktif sebanding dengan volume pori *support*, berkisar 1-1,2 kali dari volume pori *support*. Karena diharapkan nantinya jumlah antara larutan prekursor dengan pori yang tersedia pada pengemban adalah sama,

maka volume pori *support* perlu diketahui untuk menentukan volume larutan prekursor yang digunakan.

b. Impregnasi basah (WI)

Pada impregnasi basah prekursor berupa larutan yang mengisi pori dari *support*. Volume larutan prekursor fasa aktif lebih besar dari 1,5 kali volume pori *support*.

Penggunaan pelarut pada impregnasi basah lebih banyak dibandingkan dengan metode kering, yang memudahkan garam bermigrasi dari larutan ke dalam pori *support*. Metode ini dapat menghasilkan deposisi prekursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dilakukan proses pengeringan dan juga menghasilkan distribusi fasa aktif pada bagian luar penyangga. Distribusi ini bermanfaat untuk mengurangi penetrasi reaktan ke dalam katalis, sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalis (Richardson., 1989).

Penggunaan metode impregnasi juga dipertimbangkan dari faktor biaya. Untuk larutan garam yang mahal dapat dilakukan impregnasi kering. Sedangkan larutan garam yang lebih murah dapat dilakukan impregnasi basah atau pertukaran ion. Kelebihan metode impregnasi basah adalah dapatnya diatur pengontrolan banyak logam yang akan diimpregnasikan. Prekursor fasa aktif tidak disaring setelah proses perendaman dan pemanasan, tetapi langsung dilakukan pengeringan. Tetapi pada impregnasi basah logam yang berikatan pada *support* hanya terjebak didalam pori sehingga dapat mudah terelusi (Munnik dkk., 2015).

2. Proses pembuatan katalis dengan metode presipitasi.

Secara umum prosedur presipitasi adalah mengontakkan larutan garam logam dengan larutan alkali, ammonium hidroksida atau logam karbonat. Dasar pemilihan senyawa yang akan digunakan dalam metode presipitasi berdasarkan pada kemudahan perolehannya dan sifat kelarutannya dalam air (Moulijn, 1993)

II.7 Zeolit

Zeolit adalah material anorhanik berpori dengan struktur regular yang tinggi akan pori dan ruang-ruang yang memungkinkan beberapa molekul melewatinya sementara yang lainnya tertahan atau terputus. Zeolit adalah kristal aluminosilikat dengan struktur terbuka yang terbentuk oleh SiO_4 dan AlO_4 tetrahedral (Siregar., 2015).

Zeolit merupakan kristal mikropori alumina silika, yang terdiri dari TO_4 tetrahedral ($\text{T}=\text{Si}, \text{Al}$) dengan atom O *sharing* yang membentuk tetrahedral. Karena adanya *sharing* atom O tadi maka kerangka 3 dimensi zeolit sedikit terbuka sehingga membentuk pori ataupun rongga. Zeolit tersusun atas substitusi parsial Si^{4+} dengan Al^{3+} , dimana atom silikon digantikan dengan atom alumunium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom alumunium ini hanya memiliki muatan 4+. Keberadaan atom alumunium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekul, penukar ion, filter dan katalis. Secara empiris mempunyai rumus sebagai berikut $\text{Mx/n}[\{\text{AlO}_2\}_x\{\text{SiO}_2\}_y.z\text{H}_2\text{O}]$ dimana, Mx/n : kation golongan IA dan IIA dalam sistem periodik, n : valensi logam alkali, x : bilangan tertentu alumina dari 2-10, y : bilangan tertentu silica dari 2-7, z : jumlah molekul air (Pramesti, 2012).

Pemilihan bahan pengemban harus memperhatikan sifat-sifat yang dimiliki antara lain memiliki sifat *inert*, stabilitas termal tinggi, memiliki rongga yang memungkinkan terjadinya adsorpsi, mempunyai kemampuan untuk mengikat logam sebagai katalis dan memiliki luas permukaan besar karena reaksi yang terjadi selama proses katalitik berlangsung pada permukaan. Zeolit sering dijadikan bahan pengemban karena memiliki struktur stabil, murah secara ekonomi, dan tersedia dalam berbagai macam ukuran, distribusi pori, dan memiliki permukaan yang cukup luas dibandingkan dengan yang lainnya. Zeolit juga memiliki sejumlah sifat kimia maupun fisika yang menarik, diantaranya mampu

menyerap zat organik dan anorganik, dapat berlaku sebagai penukar katio dan sebagai katalis untuk berbagai reaksi (Nurhayati dan Wigiani., 2014).

Ada banyak jenis zeolit, Chen (1989) membagi zeolit kedalam tiga kelompok besar berdasarkan sistem porusnya. Kelompok pertama adalah *8-membered oxygen ring sistem*, sisitem porus pada zeolit jenis ini mengandung *interconnecting supercharge*. Anggota dari zeolit jeins ini adalah zeolit-A dan ZSM-34 yang memiliki bentuk selektivitas pori yang kecil. *Supercharge* dapat menyebabkan deaktivasi katalis dan coking pada katalis asam. Kelompok kedua adalah *10-membered oxygen ring system* yang dikenal juga sebagai zeolit berporus sedang. Kelompok ini terdiri dari beragam struktur kristal yang unik seperti ZSM-5 dan ZSM-11. Bentuk dan ukuran dari zeolit jenis ini berbeda dari satu tipe ke tipe lainnya. Kelompok yang terakhir adalah *dual pore system*, zeolit jenis ini memiliki *interconnecting channel* baik 12 dan 8 atau 10 dan 8 *membered oxygen ring system*. Zeolit jenis ini merupakan katalis asam dan dapat terjadi *coke* dan deaktivasi dengan cepat. Contoh dari zeolit jenis ini adalah mordenit dan stilbit.

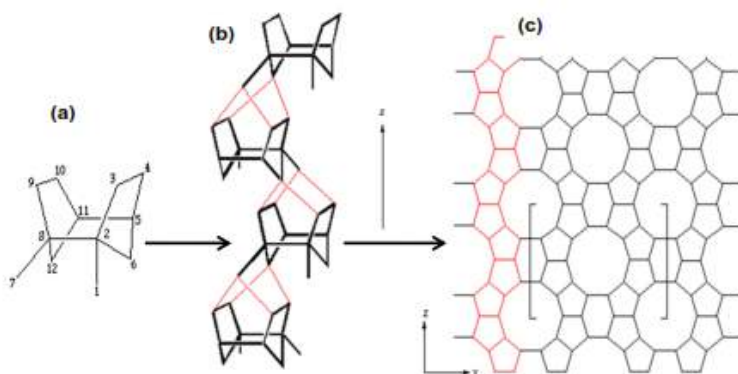
Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pada pusat aktif terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingankedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul basa secara kimia. Sifat katalisis zeolit disebabkan kation pada atom Al zeolit yang dapat dipertukarkan dengan ion H^+ dan aktif sebagai katalis.

II.7.1 Zeolit HZSM -5

HZSM-5 (Zeolit Socony Mobile-5) adalah zeolit mikropori kristal alumino silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk dari tetrahedral $(SiO_4)^{-4}$ dan $(AlO_4)^{-5}$. Dari kedua tetrahedral tersebut dihubungkan oleh atom-atom oksigen yang kemudian menghasilkan struktur tiga dimensi

terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam, biasanya berupa logam alkali dan alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992). Unit bangunan utama dari struktur zeolit adalah tetrahedral TO_4 , dimana T adalah ion Si^{4+} atau Al^{3+} dengan atom O berada diantara dua atom T. Dalam zeolit, setiap atom T dikoordinasikan ke empat atom oksigen (Ruren Xu dkk, 2006). Menurut International Union of Pure dan Applied Chemistry, bahan berpori diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu microporous (<2 nm), mesopori (2-50 nm) dan macroporous (> 50 nm) (Colella dkk, 2014)

Zeolit jenis MFI yang banyak digunakan, ZSM-5 (Zeolite Socony Mobil-5), ditemukan oleh Landolt dan Argauer (Mobil Oil Company) pada tahun 1972 dan sejak itu reputasi zeolit ZSM-5 sebagai katalis industri dalam proses yang melibatkan transformasi hidrokarbon (Argauer dkk, 1972).



Gambar II.6 Struktur zeolit ZSM-5 terdiri dari unit pentasil (Flanigen, 1991)

Struktur zeolit ZSM-5 (Gambar II.4) dibangun dari unit bangunan pentasil sekunder. Unit pentasil individu a) bergabung membentuk rantai panjang, b) yang kemudian bergabung bersama untuk membentuk lapisan ZSM-5 (c). Katalis Zeolit berperan

penting dalam pemecahan minyak nabati menjadi biofuel. Zeolit microporous dan mesoporous lebih efektif untuk mempromosikan reaksi perengkahan karena deoksigenasi senyawa oksigen dan meningkatkan *yield* hidrokarbon. Zeolit HZSM-5 merupakan katalis aktif dan atau support untuk beberapa reaksi, seperti cracking, aromatisasi, isomerisasi hidrokarbon, dan alkilasi, karena aktivitasnya, keasamannya, kemampuan untuk bekerja sebagai saringan molekuler, stabilitas termal tinggi, kapasitas adsorpsi dan kemampuan pertukaran ion (Bellussi dan Possel, 2005). Logam biasanya digunakan untuk memodifikasi sifat zeolit seperti aktivitas katalitik dan selektivitas karena mampu mengakomodasi keasaman dari zeolit. Keuntungan lain menggunakan HZSM-5 bahwa ia memiliki rasio Si/Al yang tinggi, yang dapat bervariasi dari 8 hingga tak terbatas karena fleksibilitasnya yang dapat menyebabkan karakteristik berbeda sebagai katalis. Menurut Doronin dkk (2012) distribusi dan sifat sisi dari zeolit asam telah mempengaruhi dekomposisi katalitik dari minyak nabati, karena zeolit HZSM-5 memiliki keasaman yang lebih tinggi menghasilkan produk yang terdiri dari aromatik hidrokarbon, dan diperlukan perhatian yang khusus untuk memilih zeolit, karena itu sangat menentukan distribusi dari produk sasaran.

II.8 Logam Ni-Zn

Dalam proses penyediaan sumber energi, baik berupa bahan bakar fosil maupun yang berasal dari bahan baku terbarukan biasanya memerlukan beberapa tahapan proses agar bahan bakar yang diperoleh memiliki karakteristik tertentu yang memenuhi sifat yang diperlukan. Logam-logam seperti platina, nikel, molibdenum, dan palladium merupakan jenis katalis yang sering digunakan untuk reaksi hidrogenasi. Namun karena harga platina dan paladium yang sangat mahal, maka menggunakan nikel akan lebih menguntungkan (Hart, 2004) karena proses *cracking* membutuhkan metode yang dapat menekan biaya produksi serta menghasilkan produk yang sebanyak-banyaknya.

II.8.1 Logam Ni

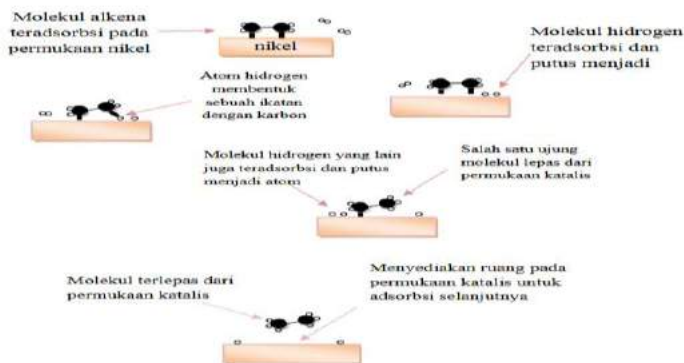
Nikel menyusun 0,009% dari komposisi kerak bumi selebihnya nikel berikatan dengan besi, oksigen, silicon, dan magnesium. Dua jenis batuan yang mengandung nikel yang dapat ditambang secara ekonomis adalah Sulfida dan Lateritic. Nikel Sulfide yang paling umum ditemukan adalah pentlandite $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_{16}$ yang hampir selalu ditemukan bercampur dengan calcopirite (CuFeS_2) dan sejumlah besar pyrrhotite (Fe_7S_8) . Nikel Sulfida lain yang lebih sulit ditemukan adalah millerite (NiS) , heazlewoodite (Ni_3S_2) , dan sulfide yang merupakan rangkaian linnaeite $(\text{Fe,Co,Ni})_3\text{S}_4$ (Othmer, 2004).

Berbeda dengan batuan sulfide, batuan lateric terbentuk dalam waktu yang sangat lama sebagai hasil dari proses pengikisan karena cuaca pada senyawa nikel yang berdeposit kembali membentuk oksida atau silikat. Salah satu jenis laterite adalah Nikel Ferous Limonitic Iron Laterite $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})_n\text{H}_2\text{O}$ yang secara primer mengandung besi oksida hidrat yang mana nikel terdispersi dalam campuran padatan (Othmer, 2004).

Nikel merupakan logam transisi yang bersifat keras dan ulet, mudah ditempa, sedikit ferromagnetis. Dalam unsur periodic Ni berada pada golongan IIB dan memiliki jari-jari atom 135 pm, serta unit sel nikel adalah kubus berpusat muka dengan parameter kisi 0,352 nm. Ni memiliki bernomor atom 28 sehingga memiliki konfigurasi electron $[\text{18Ar}] 3d^8 4s^2$. Konfigurasi elektronik tersebut menunjukkan bahwa Ni memiliki orbital atom 3d yang belum penuh. Adanya orbital d yang belum terisi penuh mengakibatkan logam Ni memiliki sifat katalitik aktif serta daya adsorpsi yang kuat terhadap reaktan (Rifan, 2008).

Logam Ni sudah digunakan secara luas dalam industri petroleum. Selain harganya relatif terjangkau, logam ini memiliki daya adsorpsi terhadap reaktan yang kuat, tetapi tidak mengadsorpsi produk C5 dan *dry gas*. Katalis nikel mampu mengadsorpsi gas hidrogen pada permukaannya saja dan mengaktifkan ikatan hidrogen-hidrogennya, sehingga gas hidrogen menjadi lebih mudah bereaksi. Semakin luas permukaan logam

katalis, maka akan semakin banyak gas hidrogen yang diserap (**Gambar II.7**). Demikian pula dengan semakin besar luas permukaan, maka kontak yang terjadi antara zat-zat yang bereaksi juga bertambah banyak, sehingga kecepatan reaksi juga bertambah besar pula (Hart, 2004).



Gambar II.7 Mekanisme katalisis heterogen pada reaksi hidrogenasi ikatan rangkap pada alkena (Rifan, 2008)

II.8.2 Logam Zn

Zinc adalah logam yang reaktif dan senyawanya bersifat stabil, sehingga *zinc* tidak ditemukan sebagai unsur bebas di alam. Meskipun sangat reaktif *zinc* lebih banyak ditemukan dibandingkan logam yang kurang reaktif seperti tembaga, emas, perak, besi, dan timbal. Seperti logam pada umumnya, *zinc* ditemukan pada seluruh air alam dan tanah dan merupakan *trace element* yang penting pada tumbuhan dan hewan. Batuan dengan beragam jenis mengandung 20-200 ppm *zinc* dan tanah mengandung 10-30 ppm *zinc* pada daerah yang tidak tercemar. Batu bara mengandung *zinc* rata-rata sebanyak 33 ppm, dari laut mengandung *zinc* sebanyak 1-27 microgram/L, dan air sungai yang tidak tercemar mengandung < 10 microgram Zn/L.

Batuan *zinc* tersebar luas didunia, terdapat 55 batuan *zinc* di dunia yang diketahui, namun bagaimanapun hanya beberapa batuan yang komersil dan batuan yang paling banyak ditambang adalah *sphalerite* (Othmer., 2004). Batuan *zinc* yang sudah umum digunakan sebagai sumber *zinc* dapat dilihat pada **Tabel II.10**.

Tabel II.10 Batuan Zinc

Name	Composition	%Zn
Sphalerite	ZnS	67.0
Hemimorphite	$\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	54.2
Smithonite	ZnCO_3	52.0
Hydrozincite	$\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$	56.0
Zincite	ZnO	80.3
Wellemite	Zn_2SiO_4	58.5
Franklinite	$(\text{Zn.Fe,Mn})(\text{Fe,Mn})_2\text{O}_4$	15-20

Sumber : Othmer., 2004

Zinc merupakan unsur bernomor atom 30 dengan massa atom relative 65,39 dan terdapat pada golongan VIIIB pada table periodik unsur sehingga memiliki konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$ (Othmer., 2004).

Zinc memiliki sifat kimia yaitu bersifat reaktif dan merupakan reduktor yang kuat sehingga sering dijadikan anoda atau anoda korban pada perpipaan bawah tanah. Seng yang dibakar akan menghasilkan lidah api berwarna hijau kebiruan dan mengeluarkan asap seng oksida. Seng bereaksi dengan asam, basa, dan non-logam lainnya. Seng yang sangat murni hanya akan bereaksi secara lambat dengan asam pada suhu kamar. Asam kuat seperti asam klorida maupun asam sulfat dapat menghilangkan lapisan pelindung seng karbonat dan reaksi seng dengan air yang ada akan melepaskan gas hidrogen. Seng secara umum memiliki keadaan oksidasi +2. Ketika senyawa dengan keadaan oksidasi +2 terbentuk, elektron pada kelopak elektron terluar *s* akan terlepas, dan ion seng yang terbentuk akan memiliki konfigurasi

$[\text{Ar}]3d^{10}$. Hal ini mengizinkan pembentukan empat ikatan kovalen dengan menerima empat pasangan elektron dan mematuhi kaidah oktet. Stereokimia senyawa yang dibentuk ini adalah tetrahedral dan ikatan yang terbentuk dapat dikatakan sebagai sp^3 . Pada larutan akuatik, kompleks oktahedral, $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, merupakan spesi yang dominan. Penguapan seng yang dikombinasikan dengan seng klorida pada temperatur di atas 285°C mengindikasikan adanya Zn_2Cl_2 yang terbentuk, yakni senyawa seng yang berkeadaan oksidasi +1. Tiada senyawa seng berkeadaan oksidasi selain +1 dan +2 yang diketahui. Perhitungan teoretis mengindikasikan bahwa senyawa seng dengan keadaan oksidasi +4 sangatlah tidak memungkinkan terbentuk (Othmer., 2004).

Sifat kimiawi seng mirip dengan logam-logam transisi periode pertama seperti nikel dan tembaga. Ia bersifat diamagnetik dan hampir tak berwarna. Jari-jari ion seng dan magnesium juga hampir identik. Oleh karenanya, garam kedua senyawa ini akan memiliki struktur kristal yang sama. Pada kasus di mana jari-jari ion merupakan faktor penentu, sifat-sifat kimiawi keduanya akan sangat mirip. Seng cenderung membentuk ikatan kovalen berderajat tinggi. Ia juga akan membentuk senyawa kompleks dengan pendonor N^- dan S^- . Senyawa kompleks seng kebanyakan berkoordinasi 4 ataupun 6 walaupun koordinasi 5 juga diketahui ada (Othmer., 2004). Sifat fisika dari unsur *zinc* dapat dilihat pada **Table II.11**.

Tabel II.11 Sifat Fisika *Zinc*

Property	Value
Ionic radius, Zn^{2+} , nm	0.0074
Covalent radius, nm	0.131
Metallic radius, nm	0.138
Ionization potential	
First	9.39
Second	17.87
Third	40.0
Density	
Solid, g/cm^3	
At 25°C	7.133
At 419°C	6.830
Liquid, g/ml	
At 419.5°C	6.620
At 800°C	6.250
Melting point, C	419.5
Boiling point, C	907
Heat of fusion at 419.5 C, kJ/mol	7.387
Heat of vaporization at 907 C, kJ/mol	114.8
Coefficient of thermal expansion, mm/(m.K)	
Volume	8.9
Linear, polycrystalline	39.7
Thermal conductivity, W/(m.K)	
Solid	
At 18 C	113.0
At 419.5 C	96.0
Liquid	
At 419.5 C	60.7
at 750 C	56.5
Electrical resistivity, n/m	
Polycrystalline	R-54.6 /91+0.0042t)
Liquid at 423 C	369.55
Heat capacity, J/mol K	
Solid	$22.39 \times 10^2 \text{ T}$
Liquid	31.39
Gas	20.80

Sumber : Othmer., 2004

II.9 Penelitian Terdahulu

Chen dkk (2015) menggunakan katalis Ni/HZSM-5 yang dipersiapkan menggunakan metode *incipient wetness impregnation*. Menggunakan loading 10 wt% Ni/HZSM-5 (Si/Al=25) pada temperatur 280 °C, tekanan hidrogen 0,8 Mpa, LHSV 4 jam, konversi dari FAME tercapai 85,1% dengan delevktivitas yang tinggi sebesar 88,2% untuk C5-C18 alkana, yang mana termasuk 8% dari gasoline, 32,5% jet alkana, dan 47,7 % diesel dan selektivitas isomerisasi moderate sebesar 27%. Reaksi dekarboksilasi dan dekarbonilasi lebih disukai pada temparatur yang tinggi dan tekanan H₂ yang rendah.

Pada tahun 1979, Weisz dkk melakukan studi menggunakan ZSM-5 untuk mengkonversi minyak nabati menjadi hidrokarbon. Mereka menggunakan minyak jagung dan minyak kacang tanah untuk melihat potensi dari katalis HZSM-5, diperoleh produk campuran yang sebanding dengan bensin yang berkualitas tinggi. Zhao dkk (2015) melakukan katalitik cracking minyak camelina untuk menghasilkan biofuel hidrokarbon menggunakan katalis Zn/ZSM-5 dan diamati bahwa penambahan logam Zn hingga 30% wt Zn tidak mengubah struktur kristal zeolit dan ZnO mungkin terdeposit pada permukaan eksternal dan/atau didalam pori-pori dari zeolit. Hasil optimal yang didapat pada konsentrasi 20% wt Zn/HZSM-5, dimana biofuel hidrokarbon tertinggi diperoleh dan produk biofuel hidrokarbon yang dihasilkan menunjukkan kualitas terbaik. Selain itu, penambahan logam Zn pada HZSM-5 bisa memfasilitasi reaksi kimia seperti dekarbonilasi dan dehidrogenasi.

Cheng dkk (2017) telah menggunakan serbuk gergaji menggunakan proses HDO menggunakan katalis Ni-Zn/Al₂O₃. Proses HDO dilakukan didalam reaktor *autoclave* pada temperatur 250 °C dan tekanan 500 psig. Katalis Ni-Zn/Al₂O₃ lebih efektif untuk meningkatkan *yield* hidrokarbon sebesar 50,12 %. Hidro proses minyak rapeseed oleh Sotelo-boyas dkk (2011) untuk mempelajari pengaruh dari temperatur terhadap *yield*. Penelitian dilakukan pada temperatur kisaran 350-400 °C menggunakan

katalis NiMo didalam reaktor *batch*. Hasilnya menunjukkan *yield* menurun dengan meningkatnya temperatur dan produk gas yang dihasilkan terdiri dari metana, butana, propana, dan etana. Bezergianni dkk (2011) telah melakukan *hidrotreated* minyak goreng bekas menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃ pada temperatur 370 °C dan tekanan hidrogen sebesar 8.27, 8.96, dan 9.65 Mpa. Penelitian dilakukan pada reaktor fix-bed. Hasilnya menunjukkan *yield* diesel menurun dengan meningkatnya tekanan.

Katalis asam seperti ZSM-5 zeolit telah diselidiki sebagai bahan untuk peningkatan bio-minyak karena kemampuannya untuk mengubah komposisi minyak dengan efektif dengan mengurangi kandungan oksigen melalui reaksi deoksigenasi. Selain itu, katalis ZSM-5 juga menghasilkan peningkatan jumlah spesies aromatik dan fraksi organik yang dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar tipe diesel dan bernilai. Di antara logam, besi dikenal sebagai senyawa yang cukup menguntungkan di bidang katalitik berdasarkan aktivitas baiknya pada reaksi hidrogenasi dan juga ekonomis (Sun dkk, 2016). Pengaruh zeolit yang dimodifikasi dengan logam Fe, Zr, dan Co diteliti oleh Li dkk (2016). Diharapkan katalis ZSM-5 yang dimodifikasi Fe adalah yang paling efektif dalam proses peningkatan hidrokarbon aromatik dari biofuel yang dihasilkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan biofuel dari minyak bintaro melalui proses *Hydrocracking* dengan menggunakan katalis Ni-Zn/HZSM-5 dilakukan persiapan sebagai berikut:

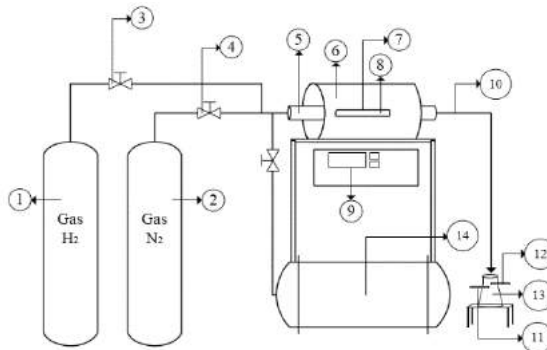
III.1 Bahan dan Alat

III.1.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak bintaro sebagai minyak nabati, gas H_2 dan gas N_2 sebagai bahan proses kalsinasi katalis dan *hydrocracking*, NH_4 -ZSM-5 CBV8014 berbentuk powder produksi Zeolyst International sebagai bahan pembuatan support HSZM-5, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Nikel II Nitrate Hexahydrate) 13478-00-7 produksi EMD Millipore Corporation dan $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Zinc Nitrate Hexahydrate) produksi EMD Millipore Corporation sebagai promotor.

III.1.2 Alat

1. Peralatan kalsinasi

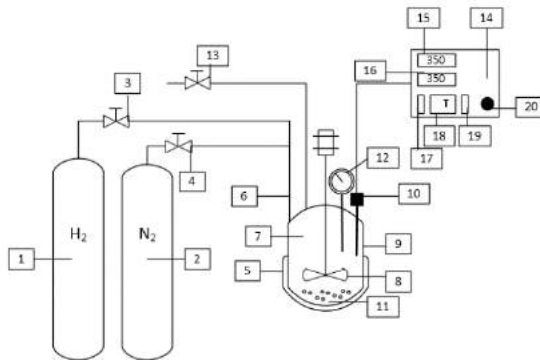


Gambar III.1 Peralatan Kalsinasi

Keterangan Gambar:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Tabung gas H_2 | 8. Katalis |
| 2. Tabung gas N_2 | 9. Panel control furnace |
| 3. Valve tube gas H_2 | 10. Tube gas outlet |
| 4. Valve tube gas N_2 | 11. Vakum vase |
| 5. Reaktor kalsinasi | 12. Gas keluar |
| 6. Furnace | 13. Air |
| 7. Nucelle | 14. Kompresor |

2. Peralatan *Hydrocracking*



Gambar III.2 Peralatan Proses *Hydrocracking*

Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Tabung gas N_2 | 11. Katalis |
| 2. Tabung gas H_2 | 12. Indikator tekanan |
| 3. Valve tube gas H_2 | 13. Gas outlet valve |
| 4. Valve tube gas N_2 | 14. Panel kontrol heater |
| 5. Heater | 15. Display suhu reaktor |
| 6. Tube reaktor gas N_2/H_2 | 16. Display suhu setpoint |
| 7. Minyak bintang | 17. Tombol ON heater |
| 8. Pengaduk | 18. Tombol ON heater |
| 9. Reaktor | 19. Tombol ON pengaduk |
| 10. Thermocouple | 20. Tombol pengatur pengaduk |

III.2 Variabel yang Digunakan

III.2.1 Variabel Tetap

Bahan baku	: Minyak Bintaro
Jenis katalis	: Ni-Zn/HZSM-5
Massa katalis total	: 2 gram/sampel
Volume minyak bintaro	: 200 ml
Tekanan	: 10 bar
Waktu	: 120 menit

III.2.2 Variabel Berubah

1. Kondisi Operasi Katalis
 - a. Perbandingan logam Ni-Zn = 1:1, 1:2
 - b. Persentase loading Ni-Zn terhadap katalis total: 5% dan 10%
2. Kondisi Operasi Proses *Hydrocracking*
Suhu reaksi (°C) = 350, 375, 400

III.3 Parameter yang Dianalisa

III.3.1 Minyak Bintaro

Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS).

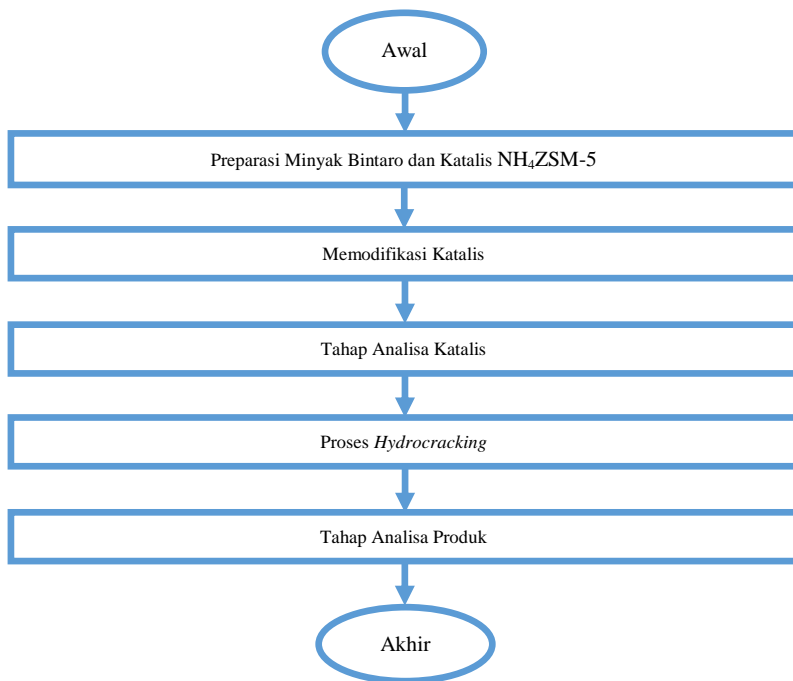
III.3.2 Katalis Ni-Zn/HZSM-5

X-Ray Diffraction (XRD), Brunauer Emmet Teller (BET), dan Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy (EDX).

III.3.3 Produk Biofuel

Gas Chromatography Mass Spectrofotometer (GC-MS)

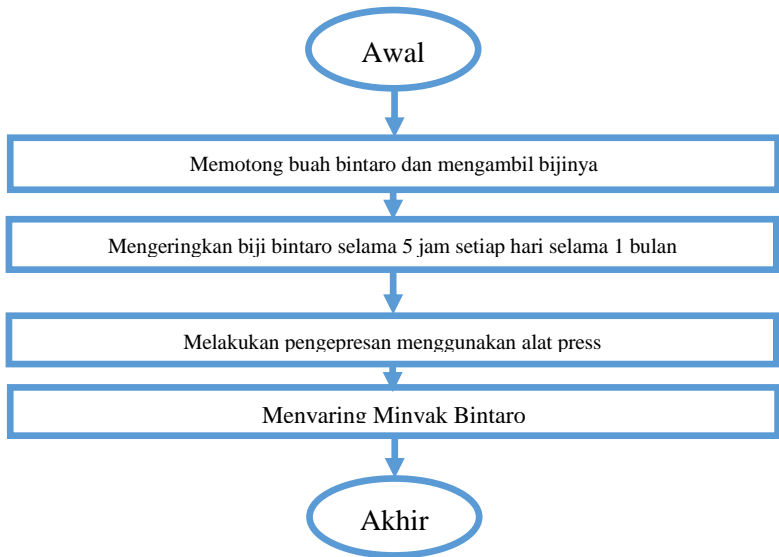
III.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar III.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian

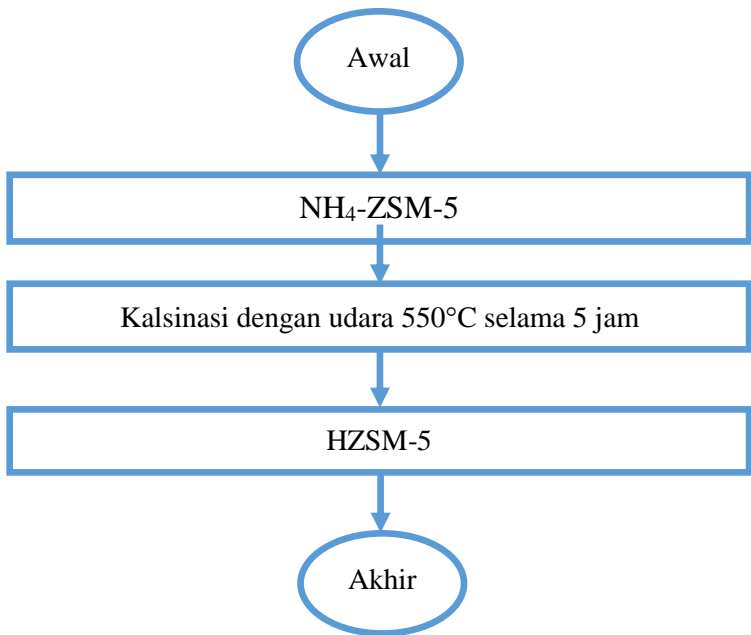
III.4.1 Pengambilan Minyak Bintaro dan Pembuatan Katalis

- Preparasi Minyak Bintaro



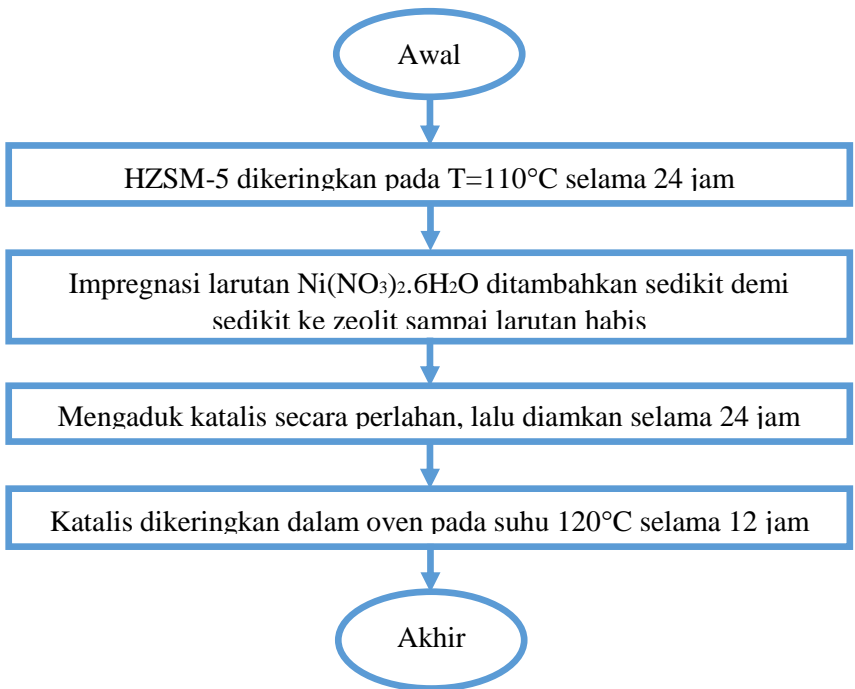
Gambar III.4 Diagram Alir Preparasi Minyak Bintaro

- Preparasi katalis HZSM-5



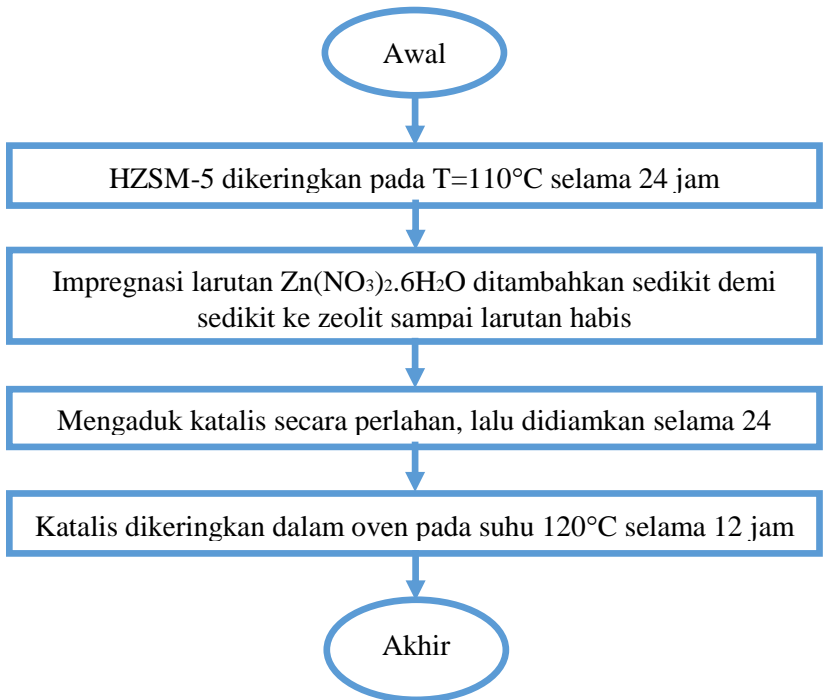
Gambar III.5 Diagram Alir Preparasi HZSM-5

- Impregnasi Ni



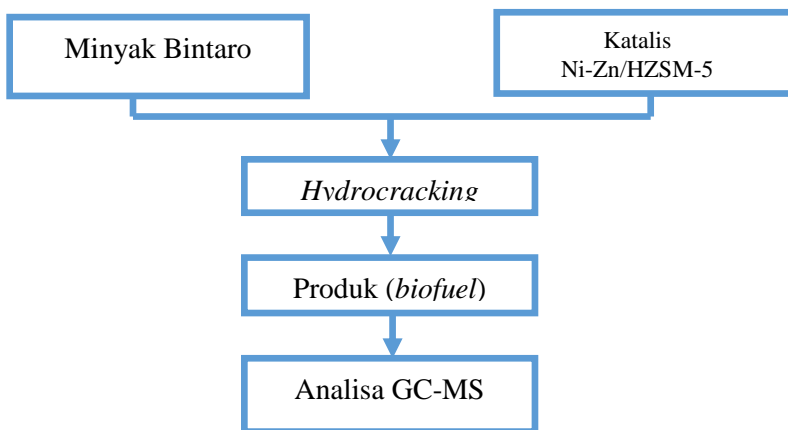
Gambar III.6 Diagram Alir Prosedur Impregnasi Ni

- Impregnasi Zn



Gambar III.7 Diagram Alir Prosedur Impregnasi Zn

III.4.2 *Hydrocracking* Minyak Bintaro



Gambar III.8 Diagram Alir *Hydrocracking* Minyak Bintaro

III.5 Prosedur Penelitian

III.5.1 Pembuatan Katalis

- Preparasi Minyak Bintaro
 1. Memotong buah bintaro dan mengambil bijinya.
 2. Mengeringkan biji bintaro selama 5 jam setiap hari selama 1 bulan.
 3. Melakukan pengepresan menggunakan alat press.
 4. Menyaring Minyak Bintaro dengan kertas saring hingga diperoleh minyak jernih.
- Preparasi katalis zeolit
 1. NH_4 -ZSM-5 dikeringkan 24 jam dalam oven pada suhu 110°C .
 2. Melakukan kalsinasi pada suhu 550°C menggunakan udara selama 5 jam.

- Impregnasi logam

HZSM-5 sebagai *support* diimpregnasi dengan larutan garam logam yaitu $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan menggunakan prosedur yang dilakukan oleh Sartipi dkk (2013) dan Haber dkk (1995).

Tahapannya sebagai berikut:

1. Zeolit sintesis HZSM-5 dikeringkan selama 12 jam dalam oven pada suhu 110°C untuk mengurangi senyawa yang terserap pada permukaan.
2. Melakukan impregnasi larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolit sampai larutan habis.
3. Mengaduk katalis secara perlahan, agar larutan terserap seluruhnya pada permukaan zeolite HZSM-5 lalu didiamkan selama 24 jam.
4. Katalis dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 12 jam.
5. Melakukan impregnasi larutan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan cara ditambahkan sedikit demi sedikit ke zeolit sampai larutan habis.
6. Melakukan tahap 3 dan 4.
7. Melakukan kalsinasi dengan udara pada suhu 500°C selama 3 jam dan dilanjutkan proses reduksi dengan gas H_2 pada suhu 550°C selama 2 jam.

III.5.2 Karakterisasi Katalis

Untuk mengetahui hasil preparasi yang baik, maka perlu dilakukan karakterisasi katalis yaitu:

- Analisa EDX bertujuan untuk mengetahui komposisi logam-logam.
- Analisa BET bertujuan untuk mengetahui luas permukaan katalis Ni-Zn/HZSM-5.
- Analisa XRD bertujuan untuk mengetahui kristalinitas katalis Ni-Zn/ HZSM-5.

III.5.3 Proses *Hydrocracking*

1. Menimbang 2 gram katalis.
2. Memasukkan katalis dalam reaktor perengkahan.
3. Memasukkan 200 ml bahan baku minyak bintaro kedalam tangki.
4. Mengalirkan gas N₂ ke dalam reaktor untuk menghilangkan oksigen.
5. Mengalirkan gas H₂ ke dalam reaktor sampai dengan tekanan reaktor 8 bar, kemudian menutup valve inlet hidrogen.
6. Menghidupkan heater dan pengaduk reaktor.
7. Memulai proses perengkahan dengan mengatur setting suhu proses sesuai variabel suhu yang ditetapkan.
8. Setelah mencapai suhu variabel, membiarkan reaksi berjalan selama 2 jam untuk setiap variabel suhu.
9. Mengambil sampel keluar dan menyaring sampel.
10. Menganalisa sampel dengan analisa GC-MS.
11. Percobaan diulangi untuk variabel perbandingan komposisi katalis lainnya.

III.6 Perhitungan Yield, Konversi dan Selektivitas

Parameter yang diukur adalah yield, konversi, dan selektivitas biofuel dalam %. Dengan asumsi % luas area senyawa yang didapatkan dari uji analisa GC-MS ekuivalen dengan % berat senyawa tersebut.

Yield :

$$Yield \text{ gasoline} = \frac{\% \text{ kadar gasoline} \times \text{berat total}}{\text{produk}} \times 100\%$$

$$Yield \text{ kerosene} = \frac{\% \text{ kadar kerosene} \times \text{berat total}}{\text{produk}} \times 100\%$$

$$Yield \text{ gas oil} = \frac{\% \text{ kadar gas oil} \times \text{berat total produk}}{\text{berat umpan}} \times 100\%$$

Konversi :

$$Konversi = \frac{\text{mol reaktan yang bereaksi}}{\text{mol umpan}} \times 100\%$$

Selektivitas :

$$Selektivitas \text{ gasoline} = \frac{\text{mol gasoline yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

$$Selektivitas \text{ kerosene} = \frac{\text{mol kerosene yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

$$selektivitas \text{ gas oil} = \frac{\text{mol gas oil yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\%$$

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Karakterisasi Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Karakterisasi katalis dilakukan dengan beberapa metode analisa. Metode analisa yang digunakan untuk mengetahui karakteristik katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *X-ray Diffractometer (XRD)* untuk mengetahui struktur kristal katalis, *Brunauer-Emmett-Teller (BET)* untuk mengetahui luas permukaan katalis, dan *Energy Dispersive X-ray (EDX)* untuk mengetahui komposisi logam yang ada didalam katalis.

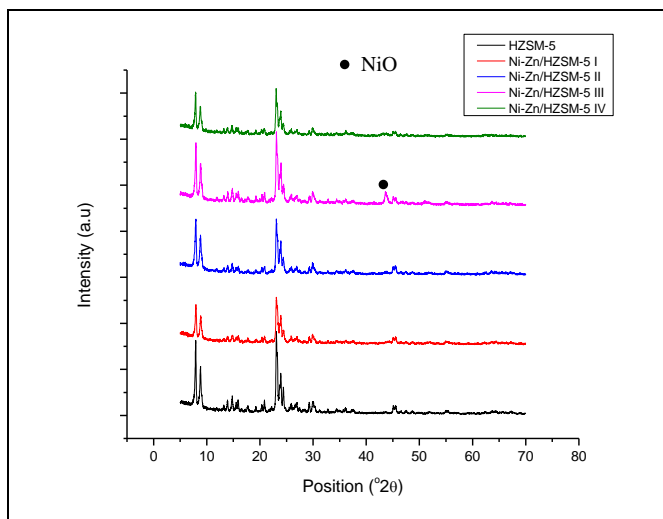
IV.1.1 Analisa XRD Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Katalis dikarakterisasi dengan analisa *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui kristalinitas yang terbentuk akibat proses impregnasi logam nikel dan zinc kedalam pori HZSM-5. Difraktometer sinar X merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi sampel berupa kristal dengan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Hasil analisa XRD ini akan diperoleh intensitas relatif dan sudut hamburan. Hamburan sinar X berasal dari atom-atom yang membentuk sampel yang diamati. **Gambar IV.1** menunjukkan difraktogram dari katalis HZSM-5 dan beberapa komposisi katalis Ni-Zn/HZSM5.

Dari **Gambar IV.1** dapat diketahui bahwa katalis HZSM-5 memiliki peak 2θ pada $7,93^\circ$ dan $23,08^\circ$, sama dengan hasil yang ditunjukkan oleh hasil sebelumnya dari (ICCD : 00-037-0359). Peak yang dihasilkan katalis Ni-Zn(5%;1:1)/HZSM-5, Ni-Zn(5%;1:2)/HZSM-5, dan Ni-Zn(10%;1:1)/HZSM-5, dan Ni-Zn(10%;1:2)/HZSM-5 sekitar $7,9^\circ$ dan 23° hampir sama dengan peak yang dihasilkan HZSM-5. Data tersebut menjelaskan bahwa adanya *loading* logam Ni dan Zn tidak mengubah bentuk kristal dari HZSM-5, namun intensitas dari HZSM-5 mengalami

perubahan dengan adanya *loading* logam Ni dan Zn, sama seperti hasil yang ditunjukkan oleh penelitian Zhao dkk pada tahun 2015.

Berdasarkan data ICDD : 00-004-0850 untuk peak Ni terletak pada $2\theta = 44,5^\circ$ dan Zn terletak pada $2\theta = 43,2^\circ$ (ICDD : 00-004-0831). Pada **Gambar IV.1** tidak menunjukkan adanya peak logam Zn dan Ni, hal ini menunjukkan bahwa logam Ni dan Zn terdispersi dengan baik kedalam pori katalis (Sun dkk, 2016). **Gambar IV.1** menunjukkan bahwa oksida logam baik NiO maupun ZnO tidak terbentuk pada katalis HZSM-5, Ni-Zn(5%;1:1)/HZSM-5, Ni-Zn (5%;1:2)/HZSM-5, dan Ni-Zn(10%;1:2)/HZSM-5, hal ini ditunjukkan dari tidak terbentuknya peak untuk NiO dan ZnO. Tidak terbentuknya oksida logam (NiO dan ZnO) dapat membuktikan bahwa proses reduksi katalis berlangsung dengan baik (Zhao dkk, 2015). Pada katalis Ni-Zn (10%;1:1)/HZSM-5 terlihat adanya peak pada $2\theta = 43,5^\circ$ yang menunjukkan adanya oksida berupa NiO (Shi dkk, 2012). Adanya oksida logam berupa NiO menunjukkan bahwa proses reduksi katalis Ni-Zn (10%;1:1)/HZSM-5 berlangsung kurang baik hal ini bisa diakibatkan karena rate H_2 pada proses reduksi jumlahnya kurang untuk dapat mereduksi seluruh oksida logam.



Gambar IV.1 Difraktogram katalis, HZSM-5, (I) Ni Zn(5%;1:1)/HZSM-5, (II) Ni-Zn (5%;1:2)/HZSM-5, (III) Ni-Zn(10%;1:1)/HZSM-5, (IV) Ni-Zn (10%;1:2)/HZSM-5

IV.1.2 Analisa BET dan EDX Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Tabel IV.1 merupakan data analisa BET yang menunjukkan luas permukaan total katalis dan EDX yang menunjukkan kadar logam yang terkandung dalam katalis. Berdasarkan data pada **Tabel IV.1** zeolit HZSM-5 memiliki luas permukaan 407,386 m²/gr, sementara dengan adanya *loading* logam Ni dan Zn pada HZSM-5 menyebabkan menurunnya luas permukaan. Perubahan ini terjadi karena partikel logam telah tersebar pada permukaan HZSM-5 dan masuk kedalam pori HZSM-5. Berkurangnya luas permukaan dari katalis bukan berarti efektifitas dari katalis menjadi berkurang, tetapi justru logam akan menambah sisi aktif pada katalis yang akan mempengaruhi laju reaksi didalam katalis (Fogler, 1999). Terbentuknya oksida NiO pada katalis Ni-Zn(10%;1:1)/HZSM-5 sangat mempengaruhi luas permukaan total katalis, terlihat dari **Tabel IV.1** luas permukaan katalis Ni-Zn(10%;1:1)/HZSM-5

berkurang jauh dari luas permukaan total HZSM-5 sebelum adanya *loading* logam. (Shi dkk, 2012).

Analisa EDX dilakukan untuk mengetahui kadar logam yang terkandung dalam katalis. **Table IV.1** menunjukkan % berat logam dalam katalis Ni-Zn(5%;1:1)/HZSM-5, Ni-Zn(5%;1:2)/HZSM-5%, Ni-Zn(10%;1:1)/HZSM-5, dan Ni-Zn(10%;1:2)/HZSM-5 tidak sesuai dengan berat logam yang diimpregnasikan kedalam HZSM-5, hal ini dapat terjadi karena proses impregnasi yang kurang baik, sehingga penyebaran logam kedalam katalis kurang merata dan sampel katalis yang diambil untuk analisa EDX merupakan bagian katalis yang terdispersi Zn dan Ni lebih banyak. Penyebab lain dari ketidak sesuaian ini adalah pada pengujian EDX hanya mengambil satu titik saja yang dianggap titik terbaik dan titik paling jelas, sehingga hasil pegujian ini tidak dapat mewakili komposisi katalis secara keseluruhan dan sebenarnya melainkan hanya dapat menunjukkan ada atau tidaknya logam yang telah diimpregnasikan.

Tabel IV.1 Hasil Analisa BET dan EDX Katalis HZSM-5 dan Ni-Zn/HZSM-5

Sampel Katalis	Ratio Logam Ni-Zn	Kadar logam ^a , % wt		Surface are ^b m ² /g
		Ni	Zn	
HZSM-5	-	-	-	407.386
Ni-Zn(5%)/HZSM-5	1:1	2.85	2.04	342.442
	1:2	2.82	3.95	316.694
Ni-Zn(10%)/HZSM-5	1:1	4.49	4.84	305.410
	1:2	4.00	6.13	331.405

a. Kadar Logam diperoleh dari analisa EDX

b. Luas permukaan total hasil analisis BET

IV.1.3 Pengaruh Pembuatan Katalis Menggunakan *Incipient Wetness* terhadap Karakteristik Katalis

Impregnasi adalah cara yang paling sederhana dan paling umum digunakan untuk memasukkan suatu precursor pada *support* yang telah dikeringkan. Salah satu metode impregnasi

adalah *Incipient Wetness*, metode ini mengimprenasikan logam kedalam *support* dengan cara melarutkan garam *precursor* kedalam suatu volum pelarut yang banyaknya sama dengan volume pori *support* kemudian larutan ini ditambahkan secara perlahan (tetes demi tetes) kedalam *support* hingga pori *support* jenuh. Gaya kapiler sangat berperan dalam proses impregnasi ini yang mana dengan adanya gaya ini cairan dapat terdorong masuk kedalam pori. Keuntungan dari metode ini adalah metode ini sederhana dalam penerapannya, cepat, dan mampu mendeposisi *precursor* dengan *loading* logam yang tinggi (Bartholomew, 2006).

Metode ini juga mampu mendispersi *precursor* dengan sangat baik kedalam pori *support* hal ini dibuktikan dengan hasil analisa karakteristik katalis menggunakan XRD yang ditunjukkan oleh **Gambar IV.1**. Pada **Gambar IV.1** *support* mengalami penurunan intensitas yang menandakan bahwa logam sudah terdispersi kedalam *support*. Pada difraktogram *support* yang telah diimpregnasikan logam sebagian besar tidak menunjukkan adanya peak dari logam yang didispersikan baik itu nikel maupun zinc sehingga dapat dikatakan bahwa logam terdispersi sempurna kedalam pori katalis seperti yang dikatakan oleh Zhao dkk dalam jurnalnya pada tahun 2015.

Hal lain yang membuktikan bahwa logam terdispersi dengan baik kedalam katalis adalah hasil analisa BET yang menunjukkan adanya penurunan luas permukaan katalis dan EDX yang menunjukkan perbandingan logam yang terkandung di dalam *support* tidak sesuai dengan perbandingan logam yang diimpregnasikan seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel IV.1**. Hasil EDX ini menunjukkan adanya kekurangan dari metode ini seperti yang dikatakan oleh (Bartholomew, 2006) yaitu sewaktu-waktu logam tidak terdeposisi merata sepanjang pori dan pellet.

Pada metode *Incipient Wetness* deposisi *precursor* logam sewaktu-waktu dapat teroksidasi dalam larutan aqueous membentuk oksida yang berinteraksi kuat dengan alumina atau silika dan sulit untuk direduksi (Bartholomew, 2006). Hal ini

dibuktikan oleh **Gambar IV.1**, hasil difraktogram Ni-Zn/HZSM-5 rasio 1:1 *loading* 10% katalis menggunakan XRD menunjukkan adanya peak NiO yang merupakan oksida dari logam nikel.

IV.2 Analisa Minyak Bintaro (*Cerbera manghas* Oil)

Minyak bintaro diperoleh dari biji bintaro melalui proses mekanik menggunakan alat *hydraulic press*. Untuk mendapatkan minyak bintaro, biji bintaro dijemur terlebih dahulu dibawah sinar matahari selama kurang lebih 1 minggu hingga biji benar-benar kering, kemudian biji yang sudah dijemur diperas menggunakan *hydraulic press* sehingga didapatkan minyak bintaro. Untuk memisahkan minyak dengan pengotornya, minyak disaring menggunakan *vacuum filter*. 4.95 kg biji bintaro kering menghasilkan rendemen minyak sebanyak 1,5 L. Minyak bintaro hasil proses ekstraksi ditunjukkan oleh **Gambar IV.2**.



Gambar IV.2 Minyak bintaro hasil ekstraksi (Dokumentasi Pribadi)

Karakteristik minyak bintaro dilakukan dengan analisa menggunakan GCMS. GCMS digunakan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang menyusun minyak bintaro beserta dengan kadar dari masing-masing senyawa tersebut. Hasil analisis GCMS minyak bintaro ditunjukkan oleh **Table IV.2**. Hasil analisa minyak bintaro menunjukkan bahwa asam lemak

terbanyak yang terkandung dalam minyak bintaro adalah oleat, palmitat, dan stearat sebanyak 39,32%, 27,64%, dan 17,73%. Oleat merupakan asam lemak yang memiliki satu ikatan rangkap (monounsaturated) sedangkan palmitat dan stearat memiliki ikatan saturated sehingga derajat ketidak jenuhan oleat lebih tinggi dari pada palmitat dan stearat.

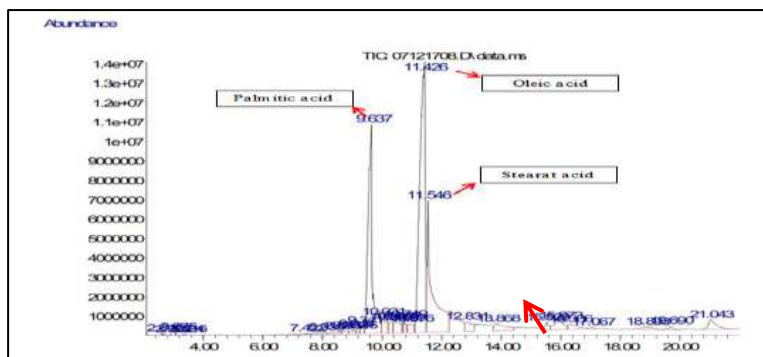
Tabel IV.2 Komposisi minyak bintaro hasil ekstraksi

Lemak	Luas Area	Kadar (%)
Trigliserida	1641992.4	17,53
Digliserida	270125.5	2,88
Monogliserida	1022457	10,91
FFA	4756204.5	50,77
Lain-lain	2009914.4	17,91

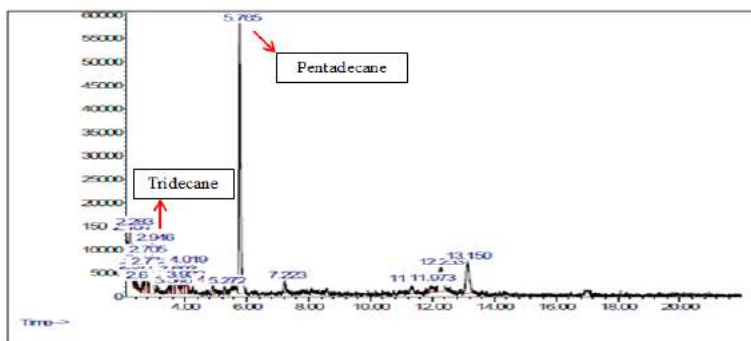
(Hasil analisa GC, Laboratorium Biokimia ITS)

IV.3 Analisa Produk Cair Hidrokarbon

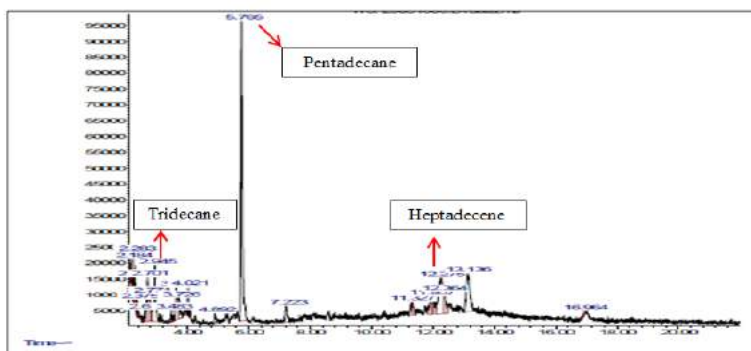
Analisa komposisi produk biofuel yang telah didapat dari proses *hydrocracking* dilakukan dengan metode *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS). Produk cair dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan panjang rantai C yang terdapat didalam produk cair biofuel yaitu gasoline (C5-C9), kerosene (C10-C13) dan gas oil (C14-C22) (Barron dkk, 2011). Gambar 4.3 menunjukkan salah satu hasil analisa *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS) dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 pada suhu 375 °C selama 2 jam.



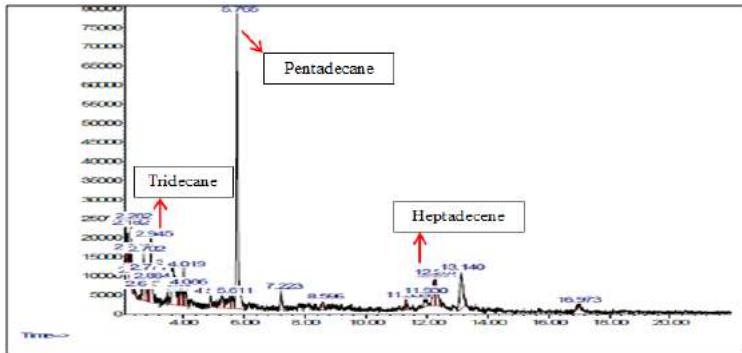
(a)



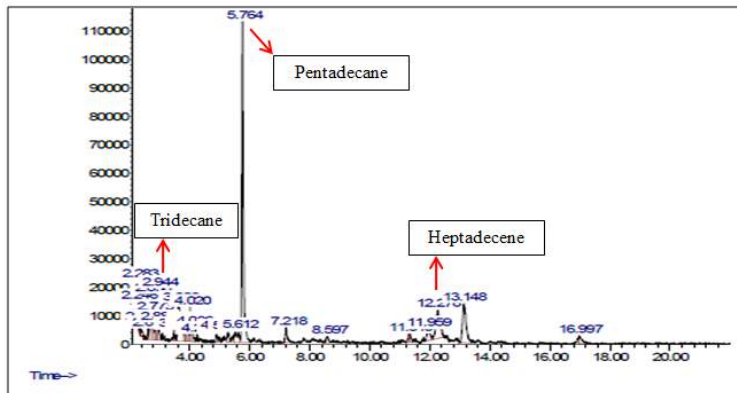
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar IV.3 Kromatogram komposisi minyak bintaro dan biofuel : (a) minyak bintaro, (b) katalis Ni-Zn/HZSM-5 *Ratio* 1:1 *Loading* 5% pada 375 °C, (c) katalis Ni-Zn/HZSM-5 *Ratio* 1:2 *Loading* 5% pada 375 °C, (c) katalis Ni-Zn/HZSM-5 *Ratio* 1:1 *Loading* 10% pada 375 °C, (d) katalis Ni-Zn/HZSM-5 *Ratio* 1:2 *Loading* 10% pada 375 °C

Gambar IV.3 menunjukkan kromatogram komposisi biofuel pada 375 °C dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5. **Gambar IV.3** (b, c, d, dan e) memperlihatkan munculnya peak dengan

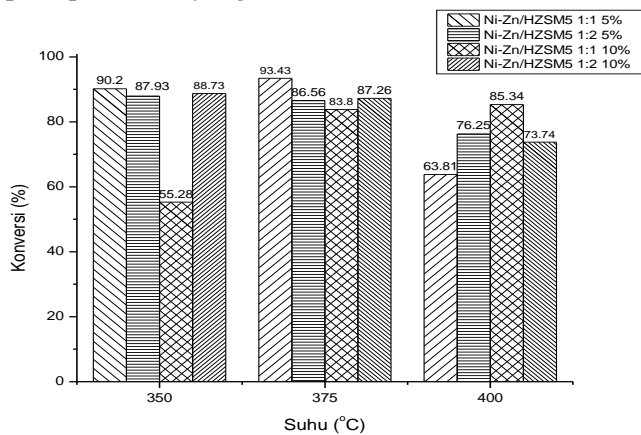
intensitas yang sangat banyak pada retention time 0-14 menit. Peak-peak ini tidak muncul pada **Gambar IV.3** (a) yang menunjukkan kromatogram minyak bintaro. Komponen dengan retention time 8-20 menit dalam minyak bintaro perlahan mulai sepenuhnya hilang selama reaksi *hydrocracking* yang ditunjukkan melalui **Gambar IV.3** (b, c, d, dan e). Ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang masih mengandung atom oksigen (seperti asam karboksilat/asam lemak, ester, aldehid, alkohol dan keton) sudah *tercracking* dengan baik menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon yang diinginkan dalam produk biofuel, yaitu n-paraffin, isoparaffin, aromatik, naphtene/cycloparaffin dan olefin. Proses penghilangan atom oksigen lebih banyak melalui rute reaksi dekarboksilasi/dekarbonilasi (HDC) karena kromatogram menunjukkan senyawa yang banyak dihasilkan adalah tridecane, pentadecane, dan heptadecene yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan jumlah rantai C ganjil.

IV.4 Pengaruh Metal Aktif Katalis dan Suhu Operasi Terhadap Konversi dan Selektivitas

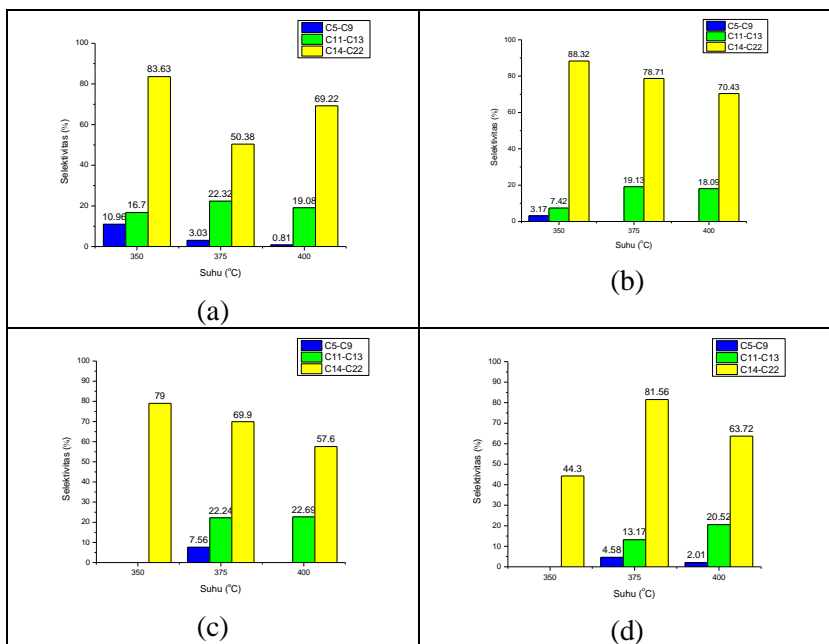
Dalam penelitian ini yang dijadikan sebagai variabel bebas dan menjadi parameter utama yang diamati adalah pengaruh perbedaan jenis katalis (% *loading* logam dan rasio logam yang diimpregnasikan) dan suhu operasi terhadap efektifitas reaksi *hydrocracking* dalam menghasilkan biofuel yang diinterpretasikan oleh *yield*, konversi, dan selektifitas. Hasil Analisa dan perhitungan konversi dan selektivitas dari proses *hydrocracking* yang telah dilaksanakan ditunjukkan oleh **Gambar IV.4** dan **Gambar IV.5**.

Konversi dan selektivitas dihitung berdasarkan data analisa GC-MS minyak bintaro sebagai bahan baku dan biofuel sebagai produk yang dihasilkan. Perhitungan ini dilakukan dengan menganggap asam lemak dari minyak bintaro sebagai reaktan yang mengalami proses *hydrocracking* menjadi biofuel, sehingga baik konversi, selektivitas maupun *yield* yang dihitung

terhadap asam lemak minyak bintaro. Perhitungan ini sama seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Rismawati dkk.



Gambar IV.4 Pengaruh Jenis Katalis dan Suhu Terhadap Konversi



Gambar IV.5 Pengaruh Jenis Katalis dan Suhu Terhadap Selektivitas (a) Ni-Zn Ratio 1:1 Loading 5%, (b) Ni-Zn Ratio 1:2 Loading 5%, (c) Ni-Zn Ratio 1:1 Loading 10%, (d) Ni-Zn Ratio 1:2 Loading 10%.

Berdasarkan penelitian Zhao dkk, adanya penambahan loading logam pada katalis akan menghasilkan konversi reaksi *hydrocracking* semakin tinggi karena adanya logam dalam katalis dapat menambah sisi aktif dan fungsi dari katalis tersebut. Adanya penambahan nikel akan membantu mempercepat proses terjadinya reaksi hidrogenasi karena nikel mampu mengadsorpsi gas hidrogen pada permukaannya dan mengaktifkan ikatan hidrogen -hidrogennya (Bartholomew, 2006; Hart, 2004). Penambahan Zn mampu membantu mempercepat proses *cracking* karena adanya logam Zn dapat meningkatkan sisi asam lewis dari katalis tersebut (Zhao dkk, 2015). Dalam penelitian kami

didapatkan hasil yang sebaliknya, penambahan loading logam pada katalis mengakibatkan konversi reaksi *hydrocracking* kearah produk cair semakin turun. Fenomena ini belum dapat ditemukan penyebabnya.

Hampir semua jenis katalis menunjukkan konversi kearah produk hidrokarbon cair memiliki kecenderungan semakin turun dengan meningkatnya suhu proses. Penurunan konversi kearah produk cair dikarenakan semakin tinggi suhu proses maka produk gas yang dihasilkan akan semakin meningkat sedangkan produk cair yang dihasilkan akan semakin turun, oleh karena itu konversi kearah produk berupa gas akan semakin naik namun konversi kearah produk cair akan semakin turun. Hasil ini sama seperti yang dilaporkan oleh Shi dkk. Kecenderungan ini tidak berlaku bagi katalis Ni-Zn/HZSM-5 *loading* 10% rasio 1:1, katalis ini menghasilkan konversi kearah produk cair yang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya suhu proses. Penyimpangan ini dapat dikarenakan kandungan oksida nitrat (NiO) yang terdapat dalam katalis. Terdapatnya senyawa oksida nitrat dalam katalis mengakibatkan penurunan sisi asam katalis karena adanya interaksi antara rangka katalis dengan NiO (Cheng dkk, 2016). Penurunan sisi asam pada katalis mengakibatkan penurunan aktivitas katalis dalam membantu proses pemutusan rantai karbon, sehingga proses pemutusan rantai karbon membutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi untuk memiliki aktivitas pemutusan rantai karbon yang sama dengan katalis yang tidak mengandung logam oksida.

Selektivitas dari proses *hydrocracking* yang ditunjukkan oleh **Gambar IV.5**. Selektivitas *heavy hydrocarbon* ($C_{14} - C_{22}$) memiliki kecenderungan menurun dengan meningkatnya suhu proses. Penurunan selektivitas *heavy hydrocarbon* ini terjadi karena peningkatan suhu proses mengakibatkan meningkatkannya aktivitas pemutusan rantai karbon sehingga dengan meningkatnya suhu proses produk gas dan *light hydrocarbon* ($C_5 - C_9$) yang dihasilkan akan lebih banyak dan mengakibatkan menurunnya jumlah *heavy hydrocarbon* dalam produk.

Peningkatan konsentrasi Zn didalam katalis berperan dalam meningkatkan selektivitas terhadap biogas-oil namun menurunkan selektivitas terhadap biokerosene dan biogasolin dikarenakan adanya peningkatan konsentrasi Zn didalam katalis meningkatkan *Lewis acid site* dari katalis yang dapat meningkatkan aktivitas reaksi hidrogenasi (hidrodeoksigenasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi) (Zhao dkk, 2015) namun menurunkan *Bronsted acid site* yang dimiliki oleh HZSM-5 yang berperan dalam proses perengkahan.

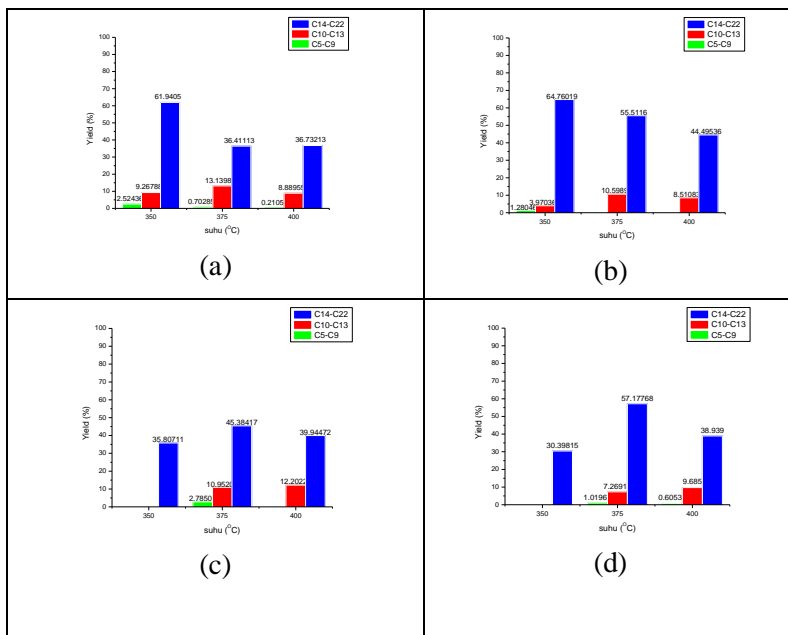
IV.5 Pengaruh Metal Aktif Katalis dan Suhu Operasi Terhadap Yield Biofuel

Pengaruh metal aktif yang terkandung dalam katalis terhadap *yield* biofuel yang dihasilkan sama seperti pengaruh metal aktif pada katalis terhadap konversi reaksi yang menghasilkan produk cair proses *hydrocracking*.

Selain penggunaan katalis, temperatur operasi juga sangat berpengaruh terhadap komposisi biofuel yang dihasilkan. **Gambar IV.6** menunjukkan hasil analisa pengaruh temperatur terhadap komposisi biofuel yang dianalisa menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer* (GC-MS). Berdasarkan **Gambar IV.6** temperatur yang rendah akan menghasilkan komposisi biofuel kearah rantai C yang lebih panjang, temperatur sedang menghasilkan biofuel dengan komposisi *middle distillate* yang tinggi, dan temperatur tinggi menghasilkan lebih banyak produk berfasa gas.

Hasil analisa GCMS secara keseluruhan menunjukkan bahwa komponen senyawa dalam biofuel melalui dua rute reaksi utama dalam proses transformasi asam lemak menjadi hidrokarbon, yaitu hidrodekarbonilasi /dekarboksilasi (HDC) dan hidrodeoksigenasi (HDO). Munculnya senyawa dominan pentadekana (C₁₅) dan heptadekana (C₁₇) menunjukkan HDC lebih mendominasi reaksi *catalytic hydrocracking* asam lemak dalam minyak biji bintaro.

Komposisi C₅-C₉ yang diperoleh dari proses *hydrocracking* sebagian besar adalah senyawa aromatik (*benzene*) dan isoparaffin. Senyawa aromatik dalam bahan bakar berperan baik dalam meningkatkan heating value, oleh karena itu senyawa aromatik dibutuhkan keberadaanya dalam bahan bakar namun dibatasi jumlahnya karena senyawa aromatic memiliki kualitas pembakaran yang buruk sehingga dapat menghasilkan emisi (Othmer, 2014). Isoparaffin memiliki fungsi untuk meningkatkan nilai oktan dan menurunkan nilai setan dari bahan bakar (Othmer, 2014).



Gambar IV.6 Pengaruh Suhu Terhadap Yield (a) Ni-Zn Ratio 1:1 Loading 5%, (b) Ni-Zn Ratio 1:2 Loading 5%, (c) Ni-Zn Ratio 1:1 Loading 10%, (d) Ni-Zn Ratio 1:2 Loading 10%

Berdasarkan **Gambar IV.6** dapat diketahui bahwa *yield* produk kearah *middle* (C10-C13) dan *light distillate* (C5-C9) paling baik adalah produk yang didapatkan pada proses *hydrocracking* menggunakan katalis Ni-Zn/H-ZSM-5 1:1 *loading* 10% dengan kondisi operasi suhu 375 °C yaitu sebesar 2,79 % untuk C5-C9 dan 10,59% untuk C10-C13. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari semua kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini katalis Ni-Zn/H-ZSM-5 1:1 *loading* 10% pada suhu 375 °C adalah kondisi terbaik dalam mengkonversi minyak bintaro menjadi biofuel.

BAB V

KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

1. Metode *Incipient Wetness Impregnation* menghasilkan proses dispersi yang baik, sehingga karakteristik katalis yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.
2. Bertambahnya *loading* pada katalis dapat meningkatkan *yield* biofuel dan *ratio* terbaik untuk proses *hydrocracking* adalah 1:1. Sehingga diperoleh hasil tertinggi pada variabel katalis Ni-Zn/HZSM-5 10% (1:1).
3. Meningkatnya suhu dapat meningkatkan *yield* produk biofuel. Dari penelitian ini, didapatkan suhu terbaik untuk proses *hydrocracking* dalam mengkonversi minyak biji bintaro menjadi biofuel adalah 375 °C.

V.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan penelitian terhadap variabel tekanan, waktu, dan jumlah katalis yang digunakan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, proses *hydrocracking* disarankan dilakukan se- banyak dua kali tahapan proses agar didapatkan produk rantai C pendek lebih banyak.
3. Melakukan penelitian dan pengkajian terhadap dampak bahaya kandungan racun yang ada pada minyak bintaro terhadap produk biofuel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Y., Hana, M. A. (1994). *Alternative Diesel Fuels From Vegetable Oils*. USA: University Of Nebraska-Linkoln
- Barron CA, Melo-Banda J, Dominguez EJ, Hernandez ME, Silva RR, Reyes TA, et al. (2011), “*Catalytic hydrocracking of vegetable oil for agrofuels production using Ni-Mo, Ni-W, Pt and TFA catalysts supported on SBA-15*”, *Catal Today* ;166:102-10.
- Bartholomew, C. H., Farrauto, R. J. (2006). *Fundamentals Of Industrial Catalytic Processes. Second Edition*. Canada: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Bellusi., Possel (2005). *Physicochemical and Catalytic Properties HZSM-5 Zeolit Deluminated by the Treatment with Steam*. Germany: University of Leipzig.
- Chen,dkk. (2015). “*Catalytic Cracking of Tar from Biomass Gasification over a HZSM-5-Supported Ni-MgO Catalyst*”. *School of Environmental Science and Engineering*, State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300072, People’s Republic of China;
- Czernik S, Bridgwater AV. (2004), “*Overview of application of biomass fast pyrolysis oil*. *Energy Fuel*; 18:590-8.
- Demirbas. A. (2009), “*Progress and recent trends in biodiesel fuels*”, *Energy Convers Manage*; 50:14–34.
- Doronin (2012), *Perengkahan Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Menggunakan Katalis H-Zeolit Dengan Variasi Temperatur Reaksi dan Nisbah Berat H-Zeolit/PFAD*. Riau: Universitas Riau.
- Fogler, Scott H. (1991). *Elements Of Chemical Reaction Engineering*. University of Michigan, USA.
- Gates, B.C., (1992), “*Catalytic Chemistry*”, New york: John Wiley and Sons, Inc`
- Handayani, R., Rukminita, S., & Gumilar, I. (2015). *Karakteristik Fisiko-Kimia Minyak Biji Bintaro (Cerbera manghas L.)*

- dan Potensinya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodisel. *Jurnal Akuatika Vol. VI No. 2/September 2015 (177-186)*.
- Hardjono, A. (2000), "Teknologi Minyak Bumi", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hart. (2004). Konversi Minyak Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam. *Journal Chemical Engineering*, Semarang.
- J.T. Richardson, (1989), Principle of Catalysts Development, Plenum Press.
- Kartina. (2006). Sintesis Hidrokarbon Fraksi C3 dan C4 Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dua Tahap Menggunakan Katalis Zeolit. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kementrian Minyak dan Gas. (2013). "Statistika Kapasitas Minyak Bumi". Jakarta.
- Kemenperin (2017). "Konsumsi Minyak pada tahun 2025". Jakarta
- Ketaren, S. (1986). "Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan". Universitas Indonesia, Jakarta, hal. 17-260.
- Kim, S., Dale, B. E. (2003). *Global Potensial Bioethanol Production From Waste Crops and Crop Residues*. USA: Michigan State University.
- Munnik, P., Petra, E., Krijn, P. (2015). Recent Developments in The Synthesis of Supported Catalyst, American Chemical Society, 155, 6687-6718
- Nugroho, A. P., Fitriyanto, D., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ γ -Al₂O₃. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 2, (2014) ISSN: 2337-3539*.
- Nurhayati dan Wigiani (2014). "Sintesis katalis Ni-Cr/Zeolit dengan Metode Impregnasi Terpisah". Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Nurjannah, Irmawati, Roesyadi, A, Danawati (2009). "Perengkahan Katalitik Minyak Sawit Menjadi Biofuel

- Menggunakan Katalis HZSM-5 dengan Impregnasi Logam” Prosiding Seminar Nasional Thermofluid, Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 2009;
- Othmer, K. (2004). *Encyclopedia of Chemical Technology Fifth Edition*. Amarica.
- Pramesti, F. A. (2012). Sintesis Zeolit Beta dari Abu Sekam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rifan, A. (2008). Katalisator dari Limbah Kaca pada Konversi Limbah Gelas Plastik dengan Situs Aktif Logam Ni berbasis Green Energy. Surakarta.
- Rasyid, R., Kusuma, H. s., Malik, R. (2017). *Tryglicerides Hydrocracking Reaction of Nyamplung Oil with Non-sulfided CoMo/ γ -Al₂O₃ Catalyst*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sahidi, F. (2005). *Bailey’s Industrial Oil and Fat Product*. Canada: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Santillan dkk (2016). "Effect of Cu and Sn promotion on the catalytic deoxygenation of model and algal lipids to fuel-like hydrocarbons over supported Ni catalysts", J.M., Oil Chem, Soc., 2(83), hal. 129-136;
- Saputri, I. R. (2010). *Pembuatan Bioetanol dari Ubi Jalar Putih (impomea Batatas L.) Menggunakan Fementasi Ragi Roti*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sharma, B.K., Adhvaryu, A., Liu, Z., dan Ervan, S.Z. (2006). "Chemical Modification of Vegetable Oils for Lubricant Applications", J.M., Oil Chem, Soc., 2(83), hal. 129-136;
- Shi Na, Liu Qi-ying, Jing Ting, Wang Tien-Jun, Ma Long-long, Zhang Qi, Zhang Xing-hua. (2012). *Hydrodeoxygenation of Vegetable Oil to Liquid Alkanes Fuels Over Ni/HZSM-5 Catalyst: Methyl Hexadecanoate as the Model Compound*. Chinese Academy of Science. Guanghou.
- Siregar, T. B. (2005). *Catalytic Cracking of Palm Oil to Gasoline Using Zeolite*. Universiti Teknologi Malaysia.

- Sukarno. (2012). *Studi Pengaruh Pencampuran Aditif Terhadap Viskositas Biodisel Pada Suhu Rendah* . Semarang: Universitas Diponegoro.
- Tamunaidu, P., Bhatia, S. (2006) *Catalytic Cracking Of Palm Oil For The Production of Biofuels: Optimazitation Studies*. Malaysia: Universiti Sains Malaysia
- Unknown (2016). *Indonesia Energy Outlook 2016*. Indonesia:ESDM
- Unknown (2008). Cadangan Minyak Indonesia. Indonesia:Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Volume:
- Wang, Y., Gan, Y., Whiting, R. (2009). *Synthesis of sulfated titania supported on mesoporous silica using direct impregnation and its application in esterification of acetic acid and n-butanol*. Journal of Solid State Chemistry, 182(9), 2530-2534
- Wendari. Putra, (2016). “ Pembuatan Katalis dengan Metode Impregnasi”. Universitas Andalas. Padang
- Zhao Xianhui, Wei Lin, Cheng Shouyun, Huang Yinbin, Yu Yong, Julson James. (2015). *Catalytic Cracking of Camelina Oil for Hydrocarbon Biofuel Over ZSM-5 Catalyst*. South Dakota State University SD 57007. USA.

APPENDIKS A PERHITUNGAN

I. Perhitungan Pembuatan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

a) Perhitungan Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:1)

Katalis total	= 6 gram
Loading logam	= 5% wt
Ratio Ni-Zn	= 1:1
Berat logam	= $0,05 \times 6 \text{ gram} = 0,3$
gram	
Berat HZSM-5	= $(6 - 0,3) \text{ gram} = 5,7$
gram	
Berat logam Ni	= $\frac{1}{2} \times 0,3 \text{ gram} = 0,15$
gram	
Berat logam Zn	= $\frac{1}{2} \times 0,3 \text{ gram} = 0,15$
gram	

BM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	= 290,79 g/mol
Ar Ni	= 58,7 g/mol
Berat $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (98%)	= $\frac{1}{0,98} \times \frac{290,79}{58,7} \times 0,15 =$
0,7582 gram	

BM $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	= 297,49 g/mol
Ar Zn	= 65,39 g/mol
Berat $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (98%)	= $\frac{1}{0,98} \times \frac{297,49}{65,39} \times 0,15 =$
0,6963 gram	

b) Perhitungan Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:2)

Katalis total	= 6 gram
Loading logam	= 5% wt
Ratio Ni-Zn	= 1:2
Berat logam	= $0,05 \times 6 \text{ gram} = 0,3 \text{ gram}$
Berat HZSM-5	= $(6 - 0,3) \text{ gram} = 5,7 \text{ gram}$

$$\text{Berat logam Ni} = \frac{1}{3} \times 0,3 \text{ gram} = 0,1 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam Zn} = \frac{2}{3} \times 0,3 \text{ gram} = 0,2 \text{ gram}$$

$$\text{BM Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 290,79 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Ni} = 58,7 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{290,79}{58,7} \times 0,1 \\ &= 0,5055 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{BM Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 297,49 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Zn} = 65,39 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{297,49}{65,39} \times 0,2 \\ &= 0,9285 \text{ gram} \end{aligned}$$

Metode yang digunakan adalah *Incipient Wetness*, sehingga volume larutan logam sama dengan volume pori HZSM-5. Diperoleh perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Volume pori rata-rata HZSM-5} = 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\text{Volume larutan logam} = \text{berat HZSM-5} \times$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pori rata-rata HZSM-5} \\ &= 5,7 \text{ gram} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g} \\ &= 1,1805 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

c) Perhitungan Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% (1:1)

$$\text{Katalis total} = 6 \text{ gram}$$

$$\text{Loading logam} = 10\% \text{ wt}$$

$$\text{Ratio Ni-Zn} = 1:1$$

$$\text{Berat logam} = 0,1 \times 6 \text{ gram} = 0,6 \text{ gram}$$

$$\text{Berat HZSM-5} = (6 - 0,6) \text{ gram} = 5,4 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam Ni} = \frac{1}{2} \times 0,6 \text{ gram} = 0,3 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam Zn} = \frac{1}{2} \times 0,6 \text{ gram} = 0,3 \text{ gram}$$

$$\text{BM Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 290,79 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Ar Ni} &= 58,7 \text{ g/mol} \\ \text{Berat Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{290,79}{58,7} \times 0,3 \\ &= 1,5165 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BM Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= 297,49 \text{ g/gmol} \\ \text{Ar Zn} &= 65,39 \text{ g/mol} \\ \text{Berat Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{297,49}{65,39} \times 0,3 \\ &= 1,3927 \text{ gram}\end{aligned}$$

d) Perhitungan Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% (1:2)

$$\begin{aligned}\text{Katalis total} &= 6 \text{ gram} \\ \text{Loading logam} &= 10\% \text{ wt} \\ \text{Ratio Ni-Zn} &= 1:2 \\ \text{Berat logam} &= 0,1 \times 6 \text{ gram} = 0,6 \text{ gram} \\ \text{Berat HZSM-5} &= (6 - 0,6) \text{ gram} = 5,4 \text{ gram} \\ \text{Berat logam Ni} &= \frac{1}{3} \times 0,6 \text{ gram} = 0,2 \text{ gram} \\ \text{Berat logam Zn} &= \frac{2}{3} \times 0,6 \text{ gram} = 0,4 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BM Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= 290,79 \text{ g/mol} \\ \text{Ar Ni} &= 58,7 \text{ g/mol} \\ \text{Berat Ni(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{290,79}{58,7} \times 0,2 \\ &= 1,011 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BM Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= 297,49 \text{ g/gmol} \\ \text{Ar Zn} &= 65,39 \text{ g/mol} \\ \text{Berat Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (98\%)} &= \frac{1}{0,98} \times \frac{297,49}{65,39} \times 0,4 \\ &= 1,8569 \text{ gram}\end{aligned}$$

Metode yang digunakan adalah *Incipient Wetness*, sehingga volume larutan logam sama dengan volume pori HZSM-5. Diperoleh perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Volume pori rata-rata HZSM-5} = 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan logam} &= \text{berat HZSM-5} \times \text{Volume pori} \\
 &\quad \text{rata-rata HZSM-5} \\
 &= 5,4 \text{ gram} \times 0,2071 \text{ cm}^3/\text{g} \\
 &= 1,1183 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

II. Komposisi Minyak Bintaro

Tabel 1. Komposisi Minyak Bintaro

Lemak	Luas Area	Kadar (%)
Trigliserida	1641992.4	17,53
Digliserida	270125.5	2,88
Monogliserida	1022457	10,91
FFA	4756204.5	50,77
Lain-lain	2009914.4	17,91

(Hasil Analisa GC Laboratorium Biokimia ITS)

Tabel 2. Komposisi Asam Lemak Minyak Bintaro

Asam lemak	Nama Sistematis	Rumus Molekul	Kadar (%)
Pelargonat	Nonanoic acid	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	0.08
caprat	Decanoic acid	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	0.28
laurat	Dodecanoic acid	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	0.35
myristat	Tetradecanoic acid	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	0.05
palmitat	Hexadecanoic acid	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	27.64
oleat	9-Octadecenoic acid (Z)	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	39.32
stearat	Octadecanoic acid	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	17.73
petroselat	6-Octadecenoic acid (Z)	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	4.07
vaccenat	11-Octadecenoic acid, methyl ester	$\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$	0.77

(Hasil Analisa GC-MS PT Gelora Djaja)

II. Perhitungan Yield

Dalam menentukan *yield*, terlebih dahulu mencari berat minyak akhir setelah proses *Hydrocracking* dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5. Berikut data yang diperoleh :

- Minyak biji bintaro dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:1) suhu 350 °C :
 Volume minyak bintaro = 200 ml
 Densitas minyak bintaro (ρ) = 0,9039 g/cm³
 Berat minyak mula-mula = Volume x ρ
 = 200 ml x 0,9039 g/cm³
 = 180,78 gram
 Berat botol kosong = 234,7066 gram
 Berat botol kosong + produk = 395,9624 gram
 Berat produk akhir = 395,9624 gram -
 234,7066 gram
 = 161,2558 gram

Tabel 3. Hasil Perhitungan Berat Pembentukan Produk Cair (gram/menit) dengan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Variabel	Suhu (°C)	Berat botol kosong (gram)	Berat botol kosong + produk (gram)	Berat produk (gram)
5% 1:1	350	234,7066	395,9624	161,2558
	375	235,048	390,001	154,9530
	400	233,3778	379,7396	146,3618
5% 1:2	350	233,2473	399,7814	166,5341
	375	232,0808	394,5972	162,5164
	400	234,0717	379,0847	145,0130
10% 1:1	350	233,2637	390,5331	157,2694
	375	235,9253	397,8146	161,8893
	400	235,2726	378,6074	143,3348
10% 1:2	350	231,7202	388,5965	156,8763
	375	233,7214	392,6235	158,9021
	400	234,7334	384,6353	149,9019

Setelah diketahui berat produk, kemudian dicari nilai *yield gasoline*, *kerosene*, dan *gas oil* pada biofuel. Berikut hasilnya :

- Minyak biji bintaro dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:1) suhu 350 °C :

Kadar gasoline dalam biofuel; Hasil analisa GCMS (%A) = 2,83 %

Kadar kerosene dalam biofuel; Hasil analisa GCMS (%B) = 10,39 %

Kadar gas oil dalam biofuel; Hasil analisa GCMS (%C) = 69,44 %

Diketahui :

$$Yield\ Gasoline = \frac{\%A \times P}{M} \times 100\%$$

$$Yield\ Kerosene = \frac{\%B \times P}{M} \times 100\%$$

$$Yield\ Gas\ oil = \frac{\%C \times P}{M} \times 100\%$$

Dimana:

P = Produk cair setelah 120 menit (gram)

M = Massa umpan berupa minyak biji bintaro (gram)

Perhitungan *yield* :

$$Yield\ Gasoline = \frac{2,83 \times 161,2558}{180,78} \times 100\% = 2,52 \%$$

$$Yield\ Kerosene = \frac{10,39 \times 161,2558}{180,78} \times 100\% = 9,27 \%$$

$$Yield\ Gas\ oil = \frac{69,44 \times 161,2558}{180,78} \times 100\% = 61,94 \%$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Yield Gasoline, Kerosene, dan Gas Oil* dengan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Variabel	Suhu	% A	% B	% C	Yield % A	Yield % B	Yield % C
5%	350	2,83	10,39	69,44	2,52	9,27	61,94
1:1	375	0,82	15,33	42,48	0,70	13,14	36,41
	400	0,26	10,98	45,37	0,21	8,89	36,73
5%	350	1,39	4,31	70,3	1,28	3,97	64,76
1:2	375	0	11,79	61,75	0	10,60	55,51
	400	0	10,61	54,48	0	8,51	43,70
10%	350	0	0	41,16	0	0	35,81
1:1	375	3,11	13,1	50,68	2,79	11,73	45,38
	400	0	15,39	50,38	0	12,20	39,94
10%	350	0	0	35,03	0	0	30,40
1:2	375	1,16	8,27	65,05	1,02	7,27	57,18
	400	0,73	11,68	46,96	0,61	9,68	38,94

Keterangan : *Gasoline* (A); *Kerosene* (B); *Gas Oil* (C)

III. Perhitungan Konversi

Dalam menentukan konversi, terlebih dahulu mencari berat minyak akhir setelah proses *Hydrocracking* dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5. Berikut data yang diperoleh :

- Minyak biji bintaro dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:1) suhu 350 °C :

Volume minyak bintaro = 200 ml

Densitas minyak bintaro (ρ) = 0,9039 g/cm³

Berat Asam Lemak mula-mula = Volume x ρ
= 200 ml x

0,9039 g/cm³ x 92,98%

= 168,09 gram

Berat molekul rata-rata Asam Lemak = 254,88 gram/mol

Mol Asam Lemak mula-mula = 0,6595 mol

Berat botol kosong

= 234,7066 gram

$$\begin{aligned}
 &\text{Berat botol kosong} + \text{produk} &&= 395,9624 \text{ gram} \\
 &\text{Berat produk akhir} &&= 395,9624 \text{ gram} \\
 &- 234,7066 \text{ gram} && \\
 &&&= 161,2558 \text{ gram} \\
 &\text{Berat Asam Lemak sisa} &&= 161,2558 \text{ x} \\
 &10,22 \% = 16,4807 \text{ gram} && \\
 &\text{Mol Asam Lemak sisa} &&= 0,0647 \text{ mol} \\
 \\
 &\text{Konversi} &= &\frac{\text{mol reaktan yang bereaksi}}{\text{mol umpan}} \\
 &&= &\frac{0,6595 - 0,0647}{0,6595} \\
 &&= &90,2\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Konversi Produk Biofuel dengan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Variabel	Suhu	Sisa Asam Lemak (gram)	Konversi Produk Biofuel (%)
5%	350	16,4808	90,20
1:1	375	11,0479	93,43
	400	60,8272	63,81
5%	350	20,2834	87,93
1:2	375	22,5903	86,56
	400	39,9213	76,25
10%	350	75,1751	55,28
1:1	375	27,2299	83,80
	400	24,6384	85,34
10%	350	18,9354	88,73
1:2	375	21,4197	87,26
	400	44,1456	73,74

IV. Perhitungan Selektivitas

Dalam menentukan selektivitas, terlebih dahulu mencari berat minyak akhir setelah proses *Hydrocracking* dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5. Berikut data yang diperoleh :

- Minyak biji bintaro dengan katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% (1:1) suhu 350 °C :

$$\begin{aligned}\text{Volume minyak bintaro} &= 200 \text{ ml} \\ \text{Densitas minyak bintaro } (\rho) &= 0,9039 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Berat Asam Lemak mula-mula} &= \text{Volume} \times \rho \\ &= 200 \text{ ml} \times 0,9039 \text{ g/cm}^3 \\ &\quad \times 92,98\% \\ &= 168,09 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat molekul rata-rata Asam Lemak} &= 254,88 \text{ gram/mol} \\ \text{Mol Asam Lemak mula-mula} &= 0,6595 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat botol kosong} &= 234,7066 \text{ gram} \\ \text{Berat botol kosong} + \text{produk} &= 395,9624 \text{ gram} \\ \text{Berat produk akhir} &= 395,9624 \text{ gram} - \\ &\quad 234,7066 \text{ gram} \\ &= 161,2558 \text{ gram} \\ \text{Berat Asam Lemak sisa} &= 161,2558 \times 10,22 \% = \\ &\quad 16,4807 \text{ gram} \\ \text{Mol Asam Lemak sisa} &= 0,0647 \text{ mol}\end{aligned}$$

Perhitungan mol *Gasoline*, *Kerosene*, dan *Gas Oil* :

$$\begin{aligned}\text{Mol gasoline dalam biofuel} &= \frac{\text{Berat gasoline}}{\text{BM gasoline}} = \frac{2,83\% \times 161,2558 \text{ gram}}{70 \text{ gram/mol}} \\ &= 0,0652 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol kerosene dalam biofuel} &= \frac{\text{Berat kerosene}}{\text{BM kerosene}} = \frac{10,39\% \times 161,2558 \text{ gram}}{168,63 \text{ gram/mol}} \\ &= 0,0994 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol gas oil dalam biofuel} &= \frac{\text{Berat gas oil}}{\text{BM gas oil}} = \frac{69,44\% \times 161,2558 \text{ gram}}{225,1 \text{ gram/mol}}\end{aligned}$$

$$= 0,4975 \text{ mol}$$

Perhitungan Selektivitas *Gasoline, Kerosene, dan Gas Oil* :

$$\begin{aligned} \text{Selektivitas gasoline} &= \frac{\text{mol gasoline yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0652}{0,6595 - 0,0647} \times 100\% \\ &= 10,96\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selektivitas kerosene} &= \frac{\text{mol kerosene yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0994}{0,6595 - 0,0647} \times 100\% \\ &= 16,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selektivitas gas oil} &= \frac{\text{mol gas oil yang dihasilkan}}{\text{mol umpan yang bereaksi}} \times 100\% \\ &= \frac{0,4975}{0,6595 - 0,0647} \times 100\% \\ &= 16,70\% \end{aligned}$$

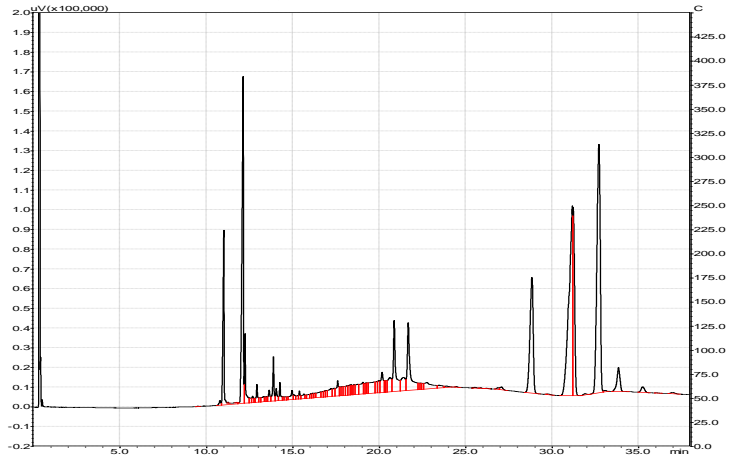
Tabel 6. Hasil Perhitungan Selektivitas *Gasoline*, *Kerosene*, dan *Gas Oil* dengan Katalis Ni-Zn/HZSM-5

Variabel	Suhu	Mol A	Mol B	Mol C	Selektivitas A (%)	Selektivitas B (%)	Selektivitas C (%)
5%	350	0,0652	0,0994	0,4975	10,96	16,70	83,63
1:1	375	0,0187	0,1375	0,3104	3,03	22,32	50,38
	400	0,0034	0,0803	0,2913	0,81	19,08	69,22
5%	350	0,0184	0,0431	0,5122	3,168	7,425	88,322
1:2	375	0,0000	0,1092	0,4494	0	19,132	78,717
	400	0,0000	0,0910	0,3542	0	18,092	70,432
10%	350	0,0000	0,0000	0,2880	0	0	79
1:1	375	0,0418	0,1229	0,3863	7,56	22,24	69,90
	400	0,0000	0,1277	0,3242	0	22,69	57,60
10%	350	0,0000	0,0000	0,2592	0	0	44,30
1:2	375	0,0263	0,0758	0,4693	4,58	13,17	81,56
	400	0,0098	0,0998	0,3099	2,01	20,52	63,72

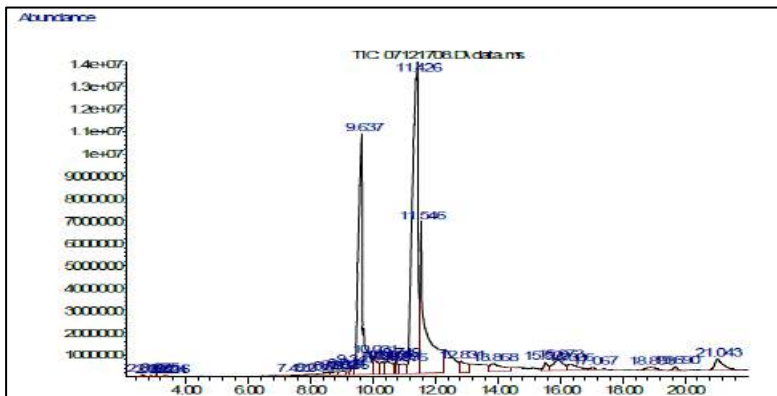
Keterangan : *Gasoline* (A); *Kerosene* (B); *Gas Oil* (C)

APPENDIKS B HASIL ANALISA GC dan GC-MS

I. GC dan GC-MS Minyak Bintaro

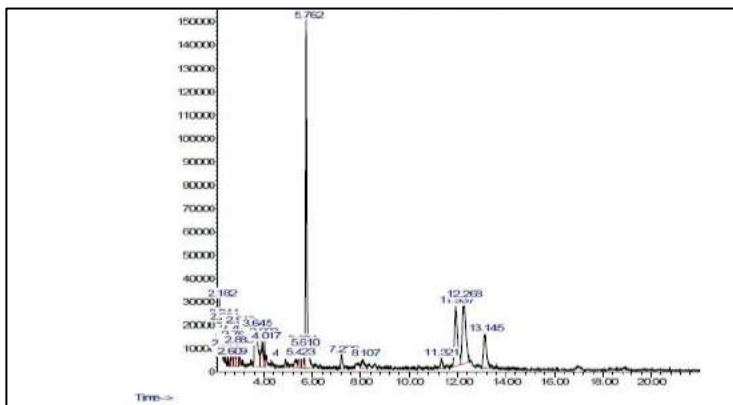


Gambar 1. GC Minyak Bintaro

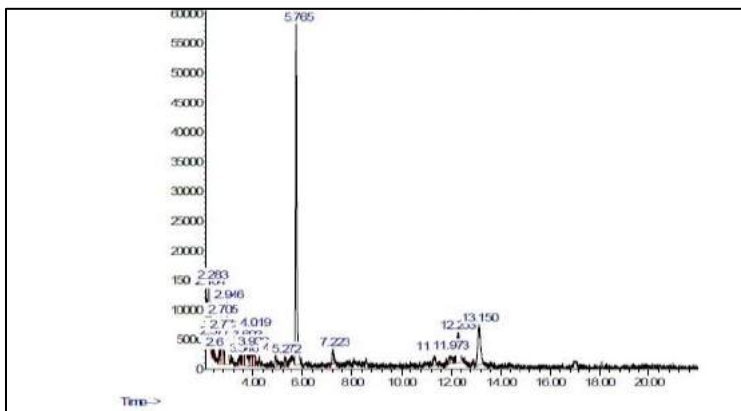


Gambar 2. GC-MS Minyak Bintaro

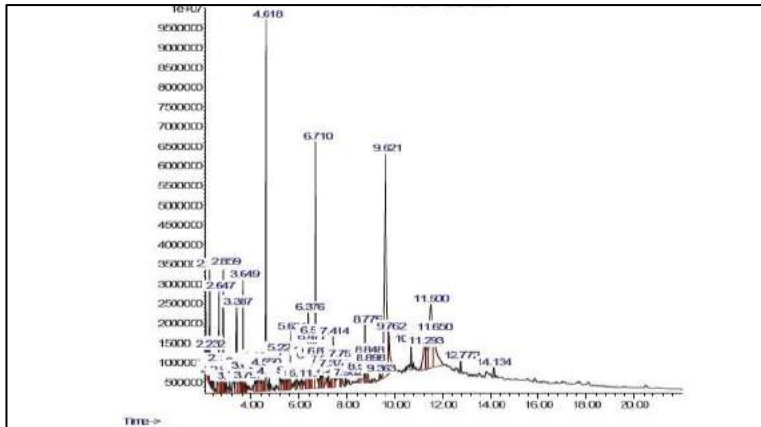
II. Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:1



Gambar 3. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 350 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:1

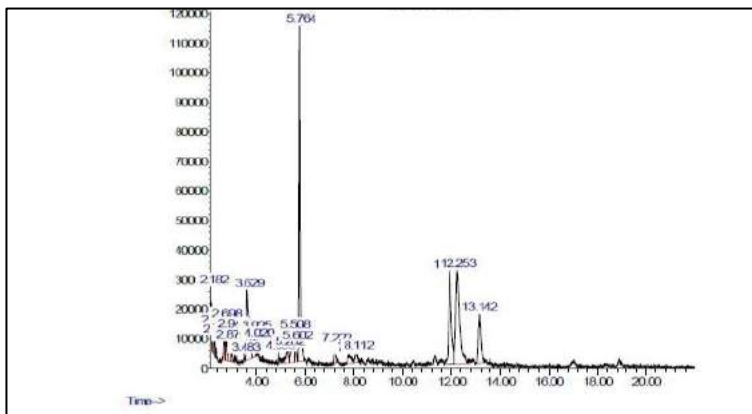


Gambar 4. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 375 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:1

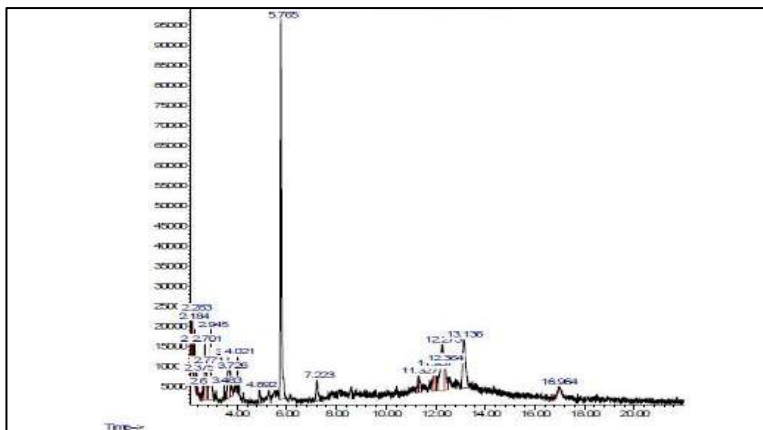


Gambar 5. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 400 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:1

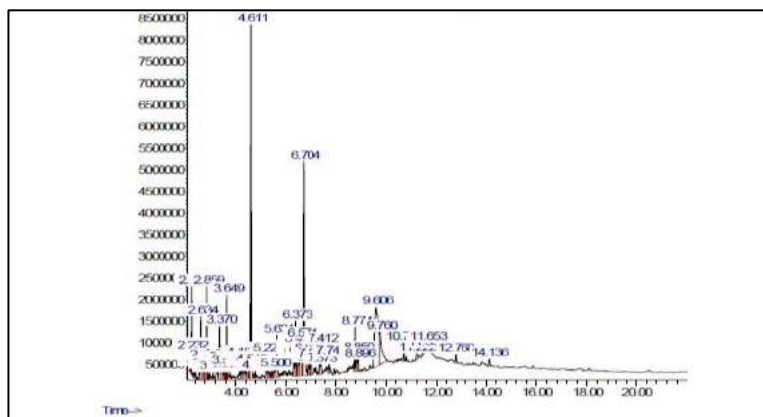
III. Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:2



Gambar 6. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 350 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:2

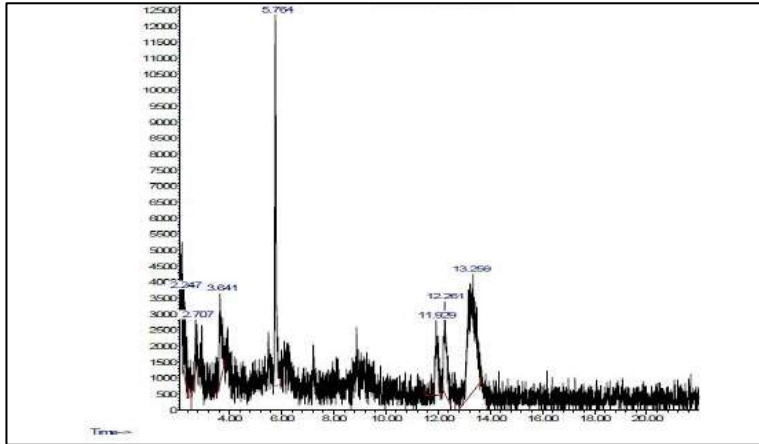


Gambar 7 Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 375 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:2

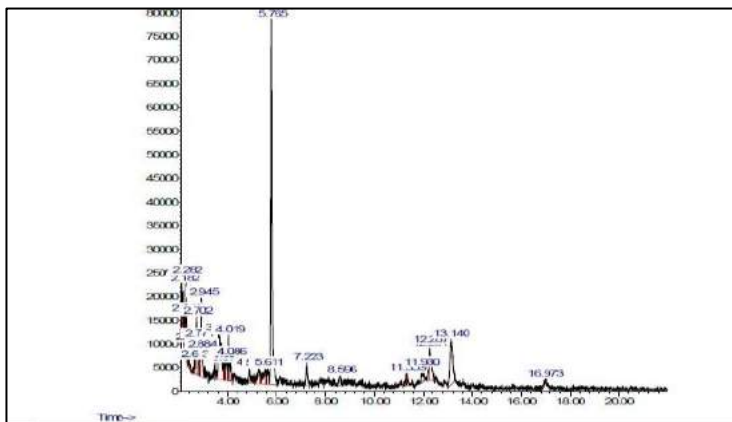


Gambar 8. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 400 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 5% Rasio 1:2

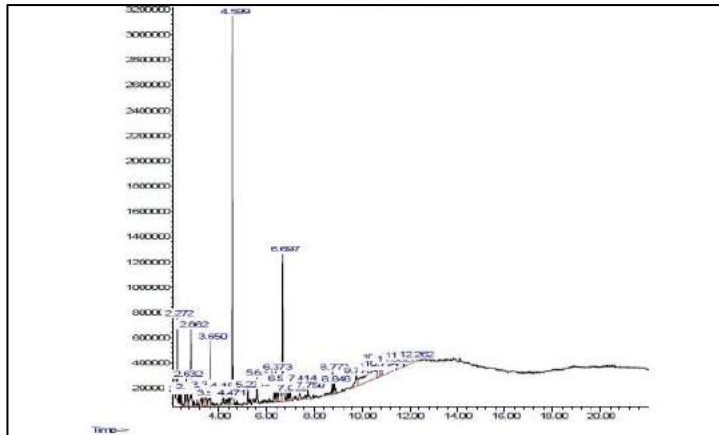
IV. Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:1



Gambar 9. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 350 °C
Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:1

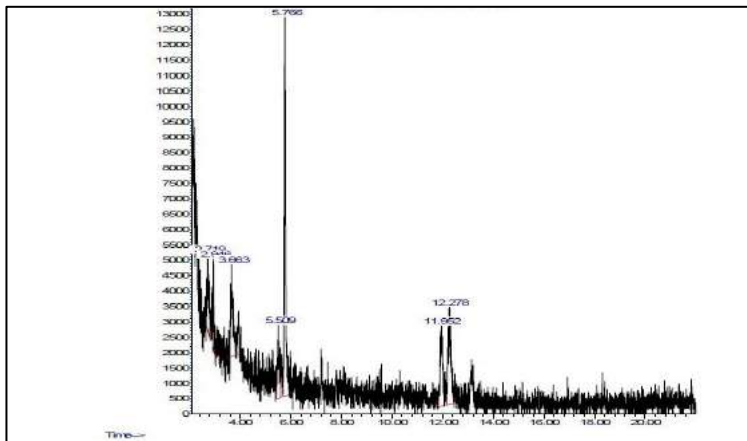


Gambar 10. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 375 °C Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:1

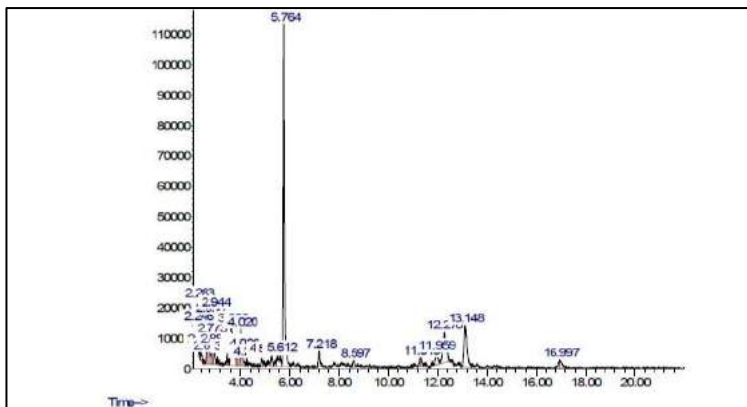


Gambar 11. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 400 °C Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:1

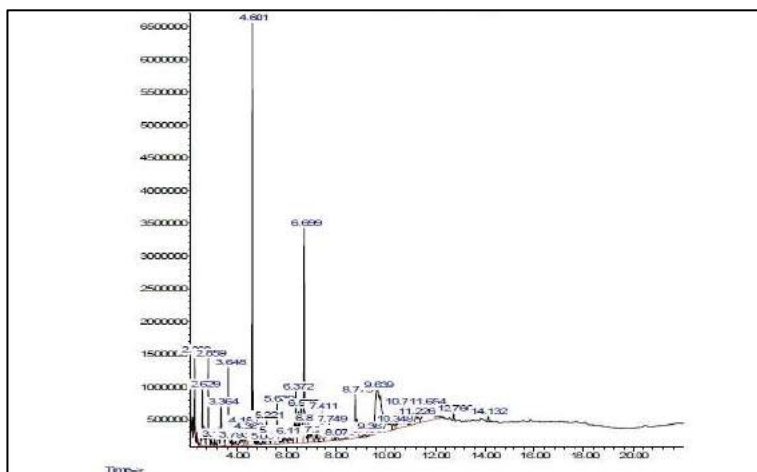
V. Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:2



Gambar 12. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 350 °C Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:2



Gambar 13. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 375 °C Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:2



Gambar 14. Hasil Analisa Produk Pada Variabel Suhu 400 °C Katalis Ni-Zn/HZSM-5 Loading 10% Rasio 1:2

BIODATA PENULIS



Faisal Arifin, penulis dilahirkan di Cirebon, 10 Desember 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal sekolah dasar di SD Negeri 1 Sumber (2000-2006), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Sumber (2006-2009), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Sumber (2009–2012). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan D3 Teknik Kimia di Politeknik Bandung

hingga tahun 2015. Kemudian pada tahun 2016, penulis melanjutkan studi jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil jurusan Teknik Kimia. Pada akhir studi penulis memilih Laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Firman Kurniawansyah, S.T, M. Eng, Sc, Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Olein dari CPO (*Crude Palm Oil*) dengan Proses *Physical Refining*” dan Skripsi berjudul “Produksi *Biofuel* dari Minyak Bintaro Melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Ni-Zn/HZSM-5”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada tahun 2018.

Email: faisalarifin350@gmail.com

BIODATA PENULIS



Davi Khoirun Najib, penulis dilahirkan di Gresik, 5 Mei 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal sekolah dasar di SDN Randuagung 2 (2001-2007), dilanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Gresik (2007-2010), kemudian dilanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Gresik (2010–2013). Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi dengan mengambil jurusan D3 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga tahun 2016. Pada tahun yang

sama melanjutkan studi jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil jurusan Teknik Kimia. Pada akhir studi penulis memilih Laboratorium Teknik Reaksi Kimia untuk menyelesaikan tugas akhir dan skripsi. Bersama partner dan dibawah bimbingan Firman Kurniawansyah, S.T, M. Eng, Sc, Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA penulis berhasil menyelesaikan Pra-Desain Pabrik “Olein dari CPO (*Crude Palm Oil*) dengan Proses *Physical Refining*” dan Skripsi berjudul “Produksi *Biofuel* dari Minyak Bintaro Melalui Proses *Hydrocracking* Menggunakan Katalis Ni-Zn/HZSM-5”. Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada tahun 2018.

Email: davikhoirunn@gmail.com